

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE SUELOS EN LA DEGRADACIÓN DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE PÁRAMO DE LA COMUNIDAD DE CRUZ DE VENTANAS. PERÍODO MARZO-JULIO 2026"

AUTOR(A) (ES):

MERWIN XAVIER GÓMEZ POZO

JENNIFER MISHELL MARTINEZ ESPIN

DIRECTOR(A)

ING. NUMA INAIN GAIBOR VELASCO

GUARANDA – ECUADOR

2026

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE SUELOS EN LA DEGRADACIÓN DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE PÁRAMO DE LA COMUNIDAD DE CRUZ DE VENTANAS. PERÍODO MARZO-JULIO 2026"

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a mi Dios por brindarme la vida, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa de mi formación académica profesional. A mis padres Merwin Gómez y Silvia Pozo, por su apoyo y su amor incondicional, los cuales fueron fundamentales para poder cumplir con mi más anhelado sueño, a mis hermanas, mis sobrinos por motivarme y acompañarme con alegría esperanzan en mi trayectoria universitaria. A mi primo Stalin Gómez por demostrarme que la perseverancia, la dedicación y el esfuerzo son el motivo para cumplir cada uno de nuestros sueños. Agusto Sánchez quien siempre estuvo conmigo en los buenos y malos momentos acompañándome, alentándome a seguir adelante y nunca rendirme. Finalmente agradezco a la vida por permitirme llegar hasta aquí y ver ese brillo de orgullo en los ojos de mis padres tras verme cumplir mis metas y mis sueños más anhelados.

Merwin Xavier Gómez Pozo

Agradezco primeramente a Dios por acompañarme en cada paso de este camino, por darme fortaleza, sabiduría y paciencia para superar cada dificultad y permitirme alcanzar esta meta tan importante. A mis padres, Geovanny y Edyth, por su amor incondicional, sus sacrificios, consejos y por creer siempre en mí, incluso en los momentos en que yo misma dudé. A mis hermanos, Jhuliana, Orlando, Jeampier y Sayro, por su cariño, apoyo y por estar presentes durante este proceso que hoy llega a una de sus etapas más importantes. Finalmente, me agradezco a mí misma por haber tenido la valentía de continuar, por cada esfuerzo, cada desvelo y cada obstáculo que logré superar. Este logro representa no solo el final de una etapa, sino también la demostración de que, con fe, perseverancia, dedicación y el apoyo de quienes amo, los sueños pueden convertirse en realidad.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación con inmenso amor y gratitud, a mis padres Merwin Gómez y Silvia Pozo, quienes forman un pilar fundamental en mi vida. Gracias por su esfuerzo, sus palabras de aliento, su amor incondicional, y su sacrificio en cada día de esta trayectoria. A mis hermanas Viví, Vale Y Male por siempre estar pendientes de mi alentándome a seguir adelante, animándome siempre a seguir con la frente en alto en cada momento. A mis sobrinas Melissa Ariana Aitana y Tadeo quienes, con su inocencia y alegría, llenan mi vida de hermosos momentos que se han convertido en mi inspiración a seguir adelante, a toda mi familia gracias por creer en mí y estar ahí en cada momento de alegría y tristeza. Hoy culmino esta etapa, pero llevo conmigo la certeza de que este trabajo es un logro q les pertenece a ustedes por siempre darme mi fuerza, mi refugio e inspiración pata seguir adelante y nunca rendirme.

Merwin Xavier Gómez Pozo

Dedico este logro, con todo mi amor y gratitud, a mis padres, por ser mi mayor inspiración, por su amor incondicional, sus sacrificios y por acompañarme siempre en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí, por sus consejos y por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia es posible alcanzar los sueños. A mis hermanos, por su cariño, compañía y apoyo constante, por estar presentes en los momentos buenos y difíciles y por formar parte de cada etapa de mi vida. Este logro es también de ustedes, porque su amor y confianza fueron una fuente de motivación para seguir adelante y llegar hasta aquí. Con todo mi corazón, les dedico este triunfo.

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 02 de septiembre de 2026

El suscrito Ingeniero Numa Inain Gaibor Velasco MsC., Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: "ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE SUELOS EN LA DEGRADACIÓN DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE PÁRAMO DE LA COMUNIDAD DE CRUZ DE VENTANAS. PERÍODO MARZO-JULIO 2026"; realizado por los señores: **Merwin Xavier Gómez Pozo y Jennifer Mishell Martinez Espin** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo con el reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



ING. NUMA GAIBOR.

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Merwin Xavier Gómez Pozo portador de la Cédula de Identidad No 0202509329 y Jennifer Mishell Martinez Espin portadora de la Cédula de Identidad No 0250226875, en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: Evaluación de los movimientos en masa y su incidencia sobre la vulnerabilidad socioeconómica, en el tramo vial entre las comunidades Moras Pamba y Tablas Chico, parroquia Julio Moreno, cantón Guaranda, provincia Bolívar. Período marzo - julio 2026., modalidad Proyecto de Investigación de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



MERWIN XAVIER GÓMEZ POZO
FIRMA



JENNIFER MISHELL MARTINEZ ESPIN
FIRMA

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 11

RESUMEN 13

ABSTRACT 14

CAPÍTULO I. 15

1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 15

1.1. Planteamiento del Problema 15

1.2. Formulación del Problema 16

1.3. Justificación 17

1.4. Objetivos 18

1.4.1. Objetivo General 18

1.4.2. Objetivos Específicos 18

1.5. Hipótesis 19

1.5.1 Hipótesis nula (H0) 19

1.5.2 Hipótesis alterna ($\boldsymbol{HA}$) 19

1.6. Variables (Operacionalización) 20

Operacionalización de variables 21

CAPÍTULO II. 24

2. Marco teórico 24

2.1. Referencial o Georreferencial 24

2.2. Antecedentes (académicos y artículos de investigación) 25

2.3. Científico (bases teóricas en la que fundamenta la investigación) 29

2.4. Legal 51

2.5. Conceptual (glosario de términos) 53

CAPITULO III. 54

3. METODOLOGÍA 54

3.1. Tipo de Investigación 54

3.2. Enfoque de la investigación 54

3.3. Métodos de Investigación 55

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos 56

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de la Información 57

CAPITULO IV 60

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 60

4.1. Resultado objetivo uno 60

4.2. Resultado objetivo dos 78

4.3. Resultado objetivo tres 101

CAPITULO V. 103

CONCLUSIONES 103

RECOMENDACIONES 104

BIBLIOGRAFÍA 106

ANEXOS 111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Área de páramos en América 37

Tabla 2: Clasificación de servicios ecosistémicos y sus funciones 38

Tabla 3: Niveles de pH relación (suelo: agua) 45

Tabla 4: NDVI con mayor extensión periodo 2017 - 2026 61

Tabla 5:Potencial de hidrógeno (pH) 79

Tabla 6: Calificación de los suelos según su Conductividad Eléctrica 83

Tabla 7: Contenido en materia orgánica (%) y relación C/N en los diferentes tipos de suelos volcánicos en función de la altitud 86

Tabla 8: Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno, carbono, hidrogenó y azufre 91

ÍNDICE DE FIGURAS/GRÁFICAS/IMÁGENES

Gráfico 1: NDVI Promedio 2017-2025 (Zona de Páramo) 63

Gráfico 2: Anomalía Estándar de Vegetación (SVI) - Fecha Actual 64

Gráfico 3: Mapa de Variabilidad de la Vegetación (STD) 65

Gráfico 4: Detección de Anomalías Críticas (SVI < -0,8) - Visualización Colab" 66

Gráfico 5: Cambio en Salud Vegetal: 2017-19 vs 2023-25 67

Gráfico 6: Cambio Neto de NDVI (2017 vs 2024) 68

Gráfico 7: Índice de Condición de la Vegetación (VCI %) 69

Gráfico 8: Mapa de Tendencia de Cambio (Pendiente de Sen) 70

Gráfico 9: Evolución Estadística del Vigor Vegetal (2017 – 2025) 71

Gráfico 10: Anomalías de NDVI: Desviación respecto al Promedio Histórico 72

Gráfico 11: Ciclo Fenológico Estacional del Páramo..... 73

Gráfico 12: Análisis de Tendencia a Largo Plazo..... 74

Gráfico 13: Análisis multitemporal 75

Gráfico 14: Mapa de Tendencia Espaciales de Páramo (2017 – 2025) 77

Gráfico 15: Correlación NDVI y pH..... 81

Gráfico 16: Relación conductividad eléctrica con Vigor de la cobertura vegetal 84

Gráfico 17: Influencia de Materia Orgánica con el Vigor de la Cobertura Vegetal..... 87

Gráfico 18: Triángulo de clasificación textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) 89

Gráfico 19: Influencia de la textura en el Vigor de Cobertura Vegetal 90

Gráfico 20: Relación de Nitrógeno Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal 92

Gráfico 21: Relación del Carbono Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal..... 93

Gráfico 22: Relación de Hidrógeno Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal 95

Gráfico 23: Distribución del Vigor según la presencia de Azufre Total 97

Gráfico 24: Matriz de Correlación Multivariada de las propiedades físico - químicas del suelo vs. Vigor Vegetal de Cobertura 98

Gráfico 25: Recopilación de muestras en el páramo Cruz de Ventanas..... 111

Gráfico 26: Tamizaje por las 21 muestras para pruebas de laboratorio..... 111

Gráfico 27: Método de Combustión 112

Gráfico 28: Análisis de pH y Conductividad..... 112

Gráfico 29: Materia Orgánica 113

Gráfico 30: Determinación de textura - método de bouyuocos modificado 113

Gráfico 31: Validación de mapas temáticos en campo 114

INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas de alta montaña a nivel global está incrementando la vulnerabilidad de los servicios ambientales y la estabilidad de los soportes edáficos, la pérdida de la cobertura vegetal nativa contribuye de manera directa a la alteración de las propiedades físico - químicas del suelo, lo que favorece a los procesos erosivos, reducción de la capacidad de retención del agua y pérdida de biodiversidad endémica. Estas consecuencias han aumentado a lo largo del tiempo por la presión antrópica, varias investigaciones mencionan que las actividades agropecuarias y los cambios del uso de suelo han provocado un retroceso severo en la vegetación natural en las últimas décadas.

Esta investigación trata sobre la relación que existe entre los tipos de suelos y la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, ubicada en una región geográficamente vulnerable a actividades de sobrepastoreo, expansión de frontera agrícola y quemas. En un escenario territorial en donde se observa fluctuaciones e impactos más intensos en los ecosistemas andinos, entender las características edáficas como las texturas susceptibles de tipo arenoso-franco condicionan o aceleran la pérdida de la cobertura vegetal la cual es crucial para el manejo y conservación del ecosistema. Si bien existen investigaciones relacionadas a los páramos andinos, el análisis concreto del tipo de suelo como un factor de influencia en la degradación vegetal a nivel local es muy limitado lo que genera acciones específicas para la restauración y mitigación ambiental.

Esta investigación, titulada “Análisis de la influencia de los tipos de suelos en la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad de Cruz de Ventanas. Período marzo-julio 2026”, tiene como finalidad evaluar la influencia de la tipología edáfica en los cambios de la vegetación, utilizando una serie de datos espaciales y temporales del Índice de

Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) extraídos de sensores remotos. El análisis se desarrolló mediante herramientas estadísticas, Análisis de Varianza (ANOVA) y el procesamiento de variables espaciales a nivel de píxel provenientes de 150 imágenes satelitales. Esto permite identificar tendencias, patrones y anomalías en la salud de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, contribuyendo con información cuantitativa para el entendimiento del comportamiento de la vegetación frente a las características de suelo.

Este estudio tiene un enfoque mixto de carácter explicativo-correlacional, estableciendo relaciones entre propiedades del suelo y la degradación de la vegetación, con la finalidad de tener una base científica para la toma de decisiones en el ámbito de planificación ambiental, conservación de microcuencas, vegetación nativa de la zona y la gestión comunitaria del páramo. Finalmente, estos resultados buscan contribuir al conocimiento científico en el campo de la teledetección y ecología de alta montaña, de igual manera al diseño de medidas técnicas y operativas que aumenten la resiliencia socioambiental de la comunidad Cruz de Ventanas frente a los desafíos del cambio de la cobertura vegetal.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia de los tipos de suelos en la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo en la comunidad de Cruz de Ventanas, con el fin de plantear medidas para un adecuado manejo y protección de suelos y cobertura vegetal. Para ello se trabajó con 150 imágenes NDVI desde el período 2017 – 2026 para la cobertura vegetal y para los tipos de suelo se tomó 21 muestras de puntos estratégicos de la reserva de Cruz de Ventanas.

Para el análisis de la dinámica temporal de la cobertura vegetal se utilizó una serie de imágenes satelitales, utilizando el software ArcMap se aplicó una de sus funciones, algebra de mapas calculando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de las bandas espectrales del rojo e infrarrojo cercano. Los valores radiométricos por los 21 puntos fueron parametrizados mediante estadística descriptiva y vectores de tendencia, logrando identificar la variabilidad de la cobertura vegetal del páramo y delimitar espacialmente las zonas bajo criterios de degradación vegetal.

Por otra parte, se analizaron las propiedades físico - químicas del suelo por cada muestra para establecer la influencia en la degradación de la cobertura vegetal. Los resultados mostraron que en las zonas con pendiente pronunciada tiende a no acumular nutrientes por la escorrentía que existe con precipitaciones fuertes y en las zonas planas la acumulación de materia orgánica afecta el desarrollo de la cobertura, esto se debe a que en las zonas de páramo al estar expuesta a altas temperaturas la descomposición de restos vegetales y animales es más lenta.

Palabras claves: Degradación del suelo, teledetección, NDVI, páramo, vigor fotosintético, temperatura, precipitación, propiedades físico - químicas.

ABSTRACT

The primary objective of this research project is to determine the influence of soil types on the degradation of vegetation cover in the páramo zone of the Cruz de Ventanas community, with the aim of proposing measures for the proper management and protection of soil and vegetation. To this end, 150 NDVI images spanning the 2017–2026 period were analyzed for vegetation cover, while 21 soil samples were collected from strategic points within the Cruz de Ventanas reserve.

To analyze the temporal dynamics of vegetation cover, a series of satellite images was used; the "map algebra" function in ArcMap software was applied to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using red and near-infrared spectral bands. Radiometric values for the 21 points were characterized using descriptive statistics and trend vectors, making it possible to identify variability in páramo vegetation cover and spatially delineate zones based on vegetation degradation criteria.

Additionally, the physicochemical properties of the soil in each sample were analyzed to establish their influence on vegetation cover degradation. The results showed that areas with steep slopes tend not to accumulate nutrients due to runoff caused by heavy rainfall, whereas in flat areas, the accumulation of organic matter affects vegetation development; this is because, in páramo zones, exposure to high temperatures slows the decomposition of plant and animal matter.

Keywords: Soil degradation, remote sensing, NDVI, páramo, photosynthetic vigor, temperature, precipitation, physicochemical properties.

CAPÍTULO I.

1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel global las diferentes actividades humanas han generado impactos significativos sobre la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos asociados a la vegetación, afectando tanto al clima local y global, la calidad y estabilidad del suelo. Particularmente la acelerada expansión urbana en el siglo XXI ha invadido extensas áreas que antes estaban cubiertas por ecosistemas naturales, reduciendo la capacidad de la vegetación para almacenar carbono y mitigar el cambio climático. Esta reducción de la vegetación ha provocado la fragmentación de diferentes hábitats naturales, generando una serie de reservas ecológicas las cuales limitan el desplazamiento de las especies y disminuyen la resiliencia de los ecosistemas frente a las diversas amenazas ambientales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021).

En Ecuador, la cobertura vegetal y los tipos de suelos presentan una relación muy estrecha afectando la salud ambiental y la sustentabilidad del territorio, en las últimas décadas se ha evidenciado una disminución significativa de la cobertura vegetal asociada a la expansión agrícola, urbanización desordenada y actividades antrópicas, provocando la degradación y pérdida de suelos fértiles y la biodiversidad propia de las zonas de páramo. Estas transformaciones en el paisaje alteran funciones ecológicas fundamentales del suelo, impactando la capacidad para la retención del agua, aumentando la vulnerabilidad a la erosión y comprometiendo a los servicios ecosistémicos. La dinámica entre la cobertura vegetal y los

distintos tipos de suelo, junto con el manejo sostenible deficiente, plantea un riesgo para la conservación de los ecosistemas (Pinos, 2016)

En la provincia Bolívar la cobertura vegetal presenta una fragmentación, con remanentes de bosque nativos, páramo, humedales y vegetación arbustiva que se encuentran en constante amenaza por la expansión de diferentes usos antrópicos como la agricultura, ganadería y desarrollo urbano, esta fragmentación implica negativamente las funciones del ecosistema, como la regulación hídrica y conservación de la biodiversidad. La falta de métodos efectivos para la recuperación y conservación de estos suelos y cobertura vegetal representa una problemática ambiental y socioeconómico para la provincia, requiriendo estrategias para un manejo sostenible (GADPB, 2024).

El principal problema radica en la ausencia de un análisis exhaustivo y actualizado sobre el estado de la cobertura vegetal, dificultando la evaluación precisa de la magnitud y consecuencias de la degradación. En consecuencia, la limitada información reduce la capacidad de diseñar estrategias efectivas de conservación y manejo sostenible, poniendo en riesgo los ecosistemas y comunidades que dependen directamente de ellos. Por lo tanto, es fundamental contar con datos fiables y actuales sobre la cobertura vegetal para un monitoreo continuo de los cambios, entender sus impactos y proponer así políticas que promuevan la preservación de estas zonas para mitigar la degradación ambiental.

1.2. Formulación del Problema

¿Como los tipos de suelos influyen en la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad Cruz de Ventana?

1.3. Justificación

El páramo ocupa aproximadamente el 7 % del territorio ecuatoriano y es reconocido por su excepcional biodiversidad donde alrededor del 6,7% de las especies de plantas son endémicas, abarcando un extenso ecosistema alpino en altitudes que oscilan en los 3200 m.s.n.m. y los 4500 m.s.n.m. Sin embargo, menos del 40 % de este frágil ecosistema está bajo protección oficial haciéndolo muy susceptible a efectos adversos del cambio climático y las distintas prácticas del uso del suelo (Gaucho, 2024).

Es importante realizar esta investigación en el Área de Conservación Cruz de Ventanas ya que es un ecosistema que presenta una diversidad significativa tanto en su cobertura vegetal como en los diferentes tipos de suelos lo que es urgente generar información actualizada sobre la cobertura vegetal permitiendo tomar decisiones importantes para su conservación y manejo sostenible. Mediante un análisis multitemporal con imágenes satelitales se pretende visualizar los cambios en la cobertura vegetal para la implementación de políticas de conservación ya que la degradación de la cobertura vegetal afecta directamente sus procesos ecológicos y la biodiversidad local en esta área, además de repercutir en la calidad del suelo y su capacidad para mantener funciones ecosistémicas vitales como la retención de agua y la regulación del microclima.

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad generar mapas temáticos de la cobertura vegetal de la zona de páramo de la comunidad de Cruz de Ventanas utilizando el software ARCGIS que servirán para evitar futuras invasiones agrícolas y proporcionar información ya que actualmente no cuenta con antecedentes investigativos de las condiciones actuales de la cobertura vegetal en el área de estudio mencionado. Por ende, comprender la susceptibilidad a la degradación de la vegetación en función de los diferentes tipos de suelos es

crucial para identificar las zonas más vulnerables y los factores subyacentes que impulsan los procesos de deterioro y al contar con un análisis detallado permitirá diseñar estrategias de conservación y restauración focalizadas, mejorando los esfuerzos para preservar la integridad ecológica del área.

Además, diferentes estudios realizados en diversas áreas protegidas del páramo han demostrado que la pérdida progresiva de cobertura vegetal va acompañada de un aumento en la erosión, compactación y alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que agrava los procesos de degradación ambiental. A partir de esta perspectiva, el análisis de susceptibilidad se convierte en una herramienta esencial para la planificación ambiental, el manejo sostenible de la tierra y la mitigación de impactos negativos en sitios de alto valor natural como Cruz de Ventanas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la influencia de los tipos de suelos en la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo en la comunidad de Cruz de Ventanas.

1.4.2. Objetivos Específicos

Identificar la cobertura vegetal y sus variaciones en el tiempo mediante teledetección.

Analizar las propiedades físicas - químicas del suelo y su relación con las zonas de degradación de la cobertura vegetal.

Plantear medidas para un adecuado manejo, protección de suelos y cobertura vegetal

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis nula (H0)

Las propiedades físicas – químicas del suelo no influyen en la degradación de cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad de Cruz de Ventanas.

1.5.2 Hipótesis alterna (***HA***)

Las propiedades físicas – químicas del suelo influyen en la degradación de cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad de Cruz de Ventanas.

Se planteó como hipótesis de trabajo que el conjunto integral de las propiedades físicas y químicas del suelo (pH, conductividad eléctrica, textura (arena, arcilla, limo), materia orgánica y contenido elemental [N, C, H, S]) ejerce un efecto significativo sobre la dinámica multitemporal de la cubierta vegetal, actuando como un sistema regulador de la Pendiente de Sen del NDVI (Pendiente_Sen_NDVI). De forma específica, se formuló la hipótesis nula (H_0) de que el perfil edáfico global no presenta una influencia conjunta estadísticamente significativa sobre la tasa de cambio del NDVI ($H_0: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_{10} = 0$), frente a la hipótesis alternativa (H_1) que sostiene que las propiedades edáficas explican de manera integrada la variación espacial e interanual en la tendencia de la biomasa vegetal.

Para evaluar la hipótesis formulada, se ejecutó un análisis de regresión lineal múltiple (OLS) considerando la totalidad de las variables edáficas, el cual mostró un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.4248$, indicando que el perfil edáfico en su conjunto explica el 42.48% de la variabilidad espacial en la tendencia del NDVI. Sin embargo, al someter el modelo a la prueba de significancia global ($F_{10,10} = 0.7386, p = 0.6796$), se determinó que esta

relación conjunta no alcanza significancia estadística al nivel del 5% ($\alpha = 0.05$). De igual forma, el modelo reducido enfocado en los parámetros químicos principales (pH y Nitrógeno) mantuvo la misma falta de significancia ($F_{2,18} = 1.599, p = 0.230, R^2 = 0.151$). Como consecuencia de estos hallazgos empíricos, no se obtuvo evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula **(H_0)**, aceptándose la ausencia de un efecto lineal multivariado significativo del suelo sobre la dinámica del NDVI.

El no rechazo de la hipótesis nula (H_0) derivado del análisis anterior demuestra que, si bien el suelo constituye la base funcional para el desarrollo de las plantas, la tasa de cambio multitemporal de la vegetación no está modulada de forma lineal ni directa únicamente por sus propiedades físico - químicas. Este resultado evidencia que la dinámica interanual de la biomasa responde a un comportamiento ecosistémico complejo donde variables climáticas y ambientales de mayor escala —tales como la precipitación acumulada, las anomalías térmicas o la pendiente topográfica ejercen un control dominante sobre la variación de la cubierta vegetal. Asimismo, la penalización estadística provocada por el tamaño de la muestra ($n = 21$) frente al número de predictores edáficos sugiere que investigaciones futuras deben emplear métodos de reducción de dimensionalidad o modelos no lineales para capturar de mejor manera estas interacciones.

1.6. Variables (Operacionalización)

Variable dependiente: Degradación de la cobertura vegetal

Variable independiente: Tipo de suelos

Operacionalización de variables

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores	Escalas	Instrumento
Degradación de la cobertura vegetal	Es la reducción o deterioro del área cubierta por vegetación natural debido a factores naturales o antrópicos.	Reducción	Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo	Km^2	Imágenes satelitales
		Deterioro	NDVI	-1 Valores Negativos 0 a 0,1 Valores bajos 0,2 a 0,5 Valores moderados 0,6 a 1 Valores altos	Imágenes satelitales
		Precipitación		mm	NASA
		Temperatura		°C	NASA

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escalas	Instrumentos
Tipo de suelos	El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre la cual se compone por una mezcla de partículas minerales (arena, limo, arcilla), materia orgánica, agua y aire, cuya formación se ve influida por la litología del material de origen y el paso del tiempo. La diversidad de tipos de suelos surge de la interacción entre factores como el clima, el relieve y la actividad biológica, determinando su textura,	Propiedades físicas-químicas	pH	% Porcentaje	Potenciómetro Balanza analítica Erlenmeyers 50 ml
			Conductividad	µs/cm	
			Materia Orgánica	% Porcentaje	Balanza analítica Erlenmeyers de 250 ml Buretas de precisión de 25 ml Probetas Vasos Cronómetro
			Textura	% Porcentaje	Vasos de precipitación

estructura y capacidad de retención de agua. Estas características, junto con su permeabilidad y fertilidad, afectan directamente su uso. La comprensión de estas dimensiones es esencial para clasificar los suelos y orientar buenas prácticas de conservación y aprovechamiento sostenible (Nasrudin, 2023).			Licuadora Probeta de 1000ml Densímetro
	Nitrógeno Total	% Porcentaje	Balanza analítica
	Carbono Total	% Porcentaje	Platos de aluminio
	Hidrógeno Total	% Porcentaje	Analizador Elemental
	Azufre Total		

CAPÍTULO II.

2. Marco teórico

2.1. Referencial o Georreferencial

La comunidad Cruz de Ventanas se ubica en la zona de páramo perteneciente a la provincia Bolívar, cantón Guaranda, parroquia Simiátug, Ecuador. Esta parroquia rural forma parte de la Zona de Planificación 5, y constituye uno de los territorios más representativos del ecosistema andino, tanto por su riqueza natural como por su identidad cultural y ancestral. Simiátug cuenta con una superficie aproximada de 296,55 km², y su rango altitudinal varía entre 1.323 y 4.454 msnm, abarcando desde zonas templadas hasta las frías alturas del páramo. Dentro de esta gradiente ecológica, Cruz de Ventanas se sitúa en la parte alta, caracterizada por herbazales húmedos y ultrahúmedos, típicos del páramo ecuatoriano, con suelos ricos en materia orgánica y una notable capacidad de retención de agua, vital para el abastecimiento hídrico de toda la cuenca (Sánchez, 2024).

El clima de montaña predominante es frío, con temperaturas que oscilan entre 4 °C y 19 °C a lo largo del año las cuales vienen acompañadas por una precipitación media anual de entre 250 y 2000 mm. Estas condiciones permiten la presencia de neblinas frecuentes, vientos intensos y un paisaje cubierto por gramíneas, musgos y arbustos adaptados a la humedad del páramo (Sánchez, 2024). En cuanto a la población, la parroquia Simiátug alberga aproximadamente 9.412 habitantes según el censo del INEC (2022), distribuidos en 39 comunidades rurales y 8 barrios urbanos. Cruz de Ventanas pertenece a la Zona 1 de la parroquia, junto con comunidades como Boliche y Cocha Colorada. Su población conserva un estilo de vida comunitario, basado en la

agricultura de altura, la ganadería menor, la artesanía y la minga como práctica ancestral de cooperación (Sánchez, 2024).

El ecosistema de páramo en Cruz de Ventanas no solo provee sustento a las familias locales y también cumple un papel esencial en la regulación hídrica y climática. Los herbazales y suelos turbosos almacenan grandes volúmenes de agua y carbono, siendo cruciales para la mitigación del cambio climático. Además, este entorno alberga especies emblemáticas como el curiquingue, el zorro andino y el colibrí de páramo, lo que refuerza su importancia ecológica y cultural. Además, la comunidad mantiene una fuerte identidad indígena y campesina, reflejada en sus costumbres, lengua kichwa, prácticas agrícolas sostenibles y su estrecha relación con la tierra y los recursos naturales. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la migración juvenil, el acceso a servicios básicos y la variabilidad climática que afecta su producción agrícola(Sánchez, 2024).

2.2. Antecedentes (académicos y artículos de investigación)

Según (Anzoategui et al., 2023) en su artículo ***"Frontera agrícola y multitemporalidad de cobertura vegetal en Páramo del Parque Regional Natural Cortadera (Boyacá, Colombia)"***, determina los principales cambios de las coberturas vegetales (periodos 1986 - 2000 - 2016) que reflejan bordes a manera de frontera agrícola, en la zona de páramo del Parque Regional Natural Cortadera en donde encontraron coberturas representativas a partir de la Metodología CORINE Land Cover a escala 1:100.000 mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat. En donde en esos periodos de estudio identificaron la disminución continua del HdTf (Hervasal denso de tierra firme no abordado) de 3. 604 ha en 1986 a 3.106 ha en 2000 y 2.532 en 2016, en contraposición, la cobertura Mpc (Mosaico de pastos y cultivos) aumentó 1447 ha en 30 años de 1.231 ha en 1986 a 2.678 ha en 2016, en donde

concluyeron que los cambios en la distribución porcentual de la cobertura vegetal son generados por la ampliación de la frontera agrícola.

Esta investigación aporta información científica sobre la transformación de la cobertura vegetal, evidenciando una disminución significativa de los herbazales y bosques naturales, demostrando el avance de la frontera agrícola, este fenómeno ha modificado el paisaje del páramo afectando la retención hídrica y su equilibrio ecológico. Además, contribuye desde el punto metodológico aplicar técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), empleando metodologías que faciliten un análisis multitemporal de las coberturas vegetales permitiendo generar información espacial precisa que se pueda utilizar para futuras investigaciones.

Según (Abbondanza, 2019) en la investigación ***"Cambios en la cobertura vegetal y erosión del suelo en Sierras Chicas – Córdoba, en el periodo 2005-2017 : aproximaciones desde el modelo RUSLE con base en la teledetección"*** La aparición de suelos desnudos vulnerables a las precipitaciones y la pérdida de la capacidad de absorción e infiltración que predispone el terreno para una mayor escorrentía, esto es por su influencia negativa en la hidrología de cuencas y el impacto de estas interacciones históricas sobre los ecosistemas. En este contexto, las técnicas geoespaciales permiten evaluar la distribución espacial de los cambios en la tasa de erosión del suelo a partir de las modificaciones de la cobertura vegetal. Como metodología se definieron los factores locales en la adaptación de la RUSLE para el periodo 2005-2017. El cálculo del modelo se realizó a partir de la fusión de información satelital y de archivo, con énfasis en la clasificación supervisada de imágenes ópticas. Las variaciones temporales en los mapas evidenciaron que los cambios de la cobertura vegetal, afectan mayormente la clase arbustiva e impacta en la tasa de erosión de suelos de pendiente inclinadas, ribereños y próximos a las poblaciones de piedemonte; sin

embargo, la utilización del modelo requiere del establecimiento de supuestos y simplificaciones que deben tenerse presentes durante la interpretación de los resultados, en especial cuando mediante la simulación se pretende cubrir la falta de información.

En el estudio de investigación de (Osorio Rivera, 2022) titulada ***"suelos caracterización e importancia"*** se aborda que el terreno es un sistema diverso que realiza varias funciones como: purificación, almacenamiento de agua y nutrientes, acumulación de carbono, entre muchas otras. Debido a esto, el suelo ha llegado a ser un pilar esencial para la generación de alimentos necesarios para la población mundial en aumento.

El texto está dividido en siete secciones: el primer segmento cubre los aspectos generales sobre el perfil y la organización del suelo, así como los diversos tipos de suelos, su textura, pH, clasificación, propiedades, composición y etapas del suelo. El segundo segmento aborda las características del suelo, la nomenclatura de sus horizontes, el diagnóstico de estos horizontes y las peculiaridades de cada uno. En la tercera parte, se discuten los minerales y la evolución del suelo, incluyendo la alteración mineral, los ciclos minerales, las migraciones, la evolución y los procesos genéticos relacionados con el suelo. El cuarto segmento se centra en el agua dentro del suelo, donde aborda temas como la retención y las propiedades químicas del agua. En el quinto capitulo analiza la materia orgánica y los organismos que habitan en el suelo. La sexta parte describe tanto los fertilizantes químicos como los orgánicos. Finalmente, en la séptima sección se detalla el manejo y la conservación del suelo a través de temas como principios, técnicas de conservación, compostaje y la degradación de los suelos.

En la investigación de (Velásquez et al., 2024) cuyo objetivo fue aplicar la teledetección para evaluar la variación de la cobertura vegetal en el ecosistema inconsistente Lomas de Mangomarca por la expansión urbana el cual descargo

imágenes satelitales de la plataforma Google Earth Engine de la constelación Landsat ya que dicha constelación permite contar con un amplio catálogo de imágenes históricas, disponiendo información que garantiza la compatibilidad entre sí.

Esta investigación aporta significativamente a investigaciones futuras dentro del campo de la teledetección, demuestra la eficacia del uso de imágenes satelitales multitemporales (Lansat 5, 7 y 8) y el procesamiento digital con herramientas como ENVI, ArcGis y Google Earth Engine para analizar cambios de la cobertura vegetal. Este enfoque metodológico estable un precedente técnico y científico para el monitoreo de los ecosistemas frágiles, esto permite replicar el método en otros territorios afectados por la expansión urbana o presiones antrópicas. Además, fortalece la línea de investigación en procesamientos digitales de imágenes, evidenciando como la teledetección puede ser usada como una herramienta preventiva para la planificación territorial, la conservación y toma de decisiones y no solo para la estimación de variaciones en la vegetación.

Por último (Zumaeta Dante , 2019) indica en su ***estudio "Análisis multitemporal y predictivo del cambio del uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal"*** que el cambio climático, el suelo y la vegetación son esenciales para comprender las tendencias relacionadas con la deforestación, la degradación, la desertificación y la disminución de la biodiversidad en una región específica. Se utiliza la metodología CLC (Corine Land Cover), adaptada a Perú, para categorizar y examinar las transformaciones en el uso del suelo y la reducción de la cobertura vegetal, incluyendo la cobertura forestal, las pérdidas naturales, la deforestación y la degradación de bosques.

El modelo de obtención de resultados ejecuto con la delimitación del área para la selección y adquisición del material satelital con un tratamiento previo de las imágenes

satelitales para ver el porcentaje de cambio de cobertura vegetal y determinación del grado de deforestación con la leyenda Corine Land Cover para posterior clasificar mediante firmas espectrales para interpretar , corregir y evaluar con exactitud la concentración de cobertura vegetal natural la cual obtuvo mediante la ecuación planteada por la FAO para la tasa de cambio . Las alteraciones en la vegetación cambian de un sitio a otro, dependiendo de las acciones del ser humano y la intensidad con la que se llevan a cabo. No obstante, la cría de ganado a gran escala provoca transformaciones significativas en los entornos rurales, lo cual debe ser considerado como un fenómeno con grandes impactos tanto ambientales como sociales.

2.3. Científico (bases teóricas en la que fundamenta la investigación)

Cobertura vegetal

La vegetación en el suelo actúa como un sistema de filtrado para el agua que se desplaza en la superficie, o se puede entender como la capa de plantas que recubre el terreno. Esta incluye una amplia variedad de biomasas con diversas características físicas y ambientales, que van desde praderas hasta áreas con bosques nativos que presentan diferentes tipos de flora y fauna. Este concepto es esencial para analizar la planificación del uso del suelo, dado que las plantas desempeñan un papel crucial en la regulación de los ciclos del agua, la preservación del suelo y la diversidad biológica. Asimismo, la evaluación de la cobertura vegetal es útil para determinar el estado de un ecosistema y para diseñar estrategias de conservación y restauración ambiental (Suárez et al., 2013)

Tipos de cobertura vegetal en los páramos

Los tipos de cobertura vegetal se clasifican por criterios como se refiere a la organización o apariencia de su flora, esta modalidad de clasificación resalta los tipos de

vida vegetal que predominan en un lugar específico. Este aspecto es fundamental para entender la diversidad de los páramos, puesto que, a diferencia de lo que podría creerse, los páramos no se limitan a ser solo pastizales, sino que albergan una sorprendente variedad de vegetación que encajamos en la categoría de páramo. Entre las formaciones vegetales o clases fisionómicas más habituales de los páramos andinos se encuentran:

- Bosque paramero
- Pajonales
- Rosetales
- Arbustales o matorrales
- Bosque altoandino
- Páramo desértico o superpáramo
- Humedales altoandinos.

Cada uno de los tipos de cobertura vegetal se diferencia por su tipo de flora y fauna que puede albergar, en algunos de los casos hay vegetación adaptada por el cambio climático ya que hay una variación en su clima.

Bosque paramero

El bosque paramero o también conocido como subpáramo, ceja andina, cinturón de ericáceds o especies arbustivas parameras, se distribuyen entre los 2500 y 3500 m.s.n.m, son bosques de transición entre los bosques altoandinos y páramo, dominados por árboles y arbustos de géneros como Vaccinium, Gynoxis, Weinmannia y Gaultheria. En diferentes zonas han sido alterados de manera drástica, resultando en lo que se conoce como paramización del bosque, es decir, la vegetación de páramo se extiende suplantando a los bosques andinos especialmente por la actividad humana, pueden formar un límite abrupto o de transición suave con el páramo, bajo escenarios de calentamiento global, este ecosistema de transición entre el bosque y el páramo, pudiera

ascender si no hubiera intervención humana restringiendo la extensión de los páramos abiertos (Llambí et al., n.d.).

Pajonales

Los pajonales se ubican a una altitud 3000 m.s.n.m, estos son muy comunes en Ecuador y Perú, pero también hay en Colombia y Venezuela, se encuentran en páramos de origen natural húmedos, pero pueden aparecer en zonas muy secas o en arenales, muchos páramos degradados por la acción humana, fuego o expansión de territorios para ganadería se transforman también en pajonales (Llambí et al., n.d.).

Rosetales

Estos se encuentran a una altitud de 2800 m.s.n.m y se hallan ampliamente distribuidos en Venezuela, Colombia y al norte de Ecuador, este paisaje es dominado por rosetas gigantes del complejo Espeletia, estos cuentan con frailejones con cerca de 130 especies, todas únicas de los páramos de América del Sur y son endémicas de Venezuela, Colombia y Ecuador, dependiendo de las formas de vida dominantes pueden tener formaciones mixtas como el pajonal-rosetal y arbustal-rosetal (Llambí et al., n.d.).

Arbustales o Matorrales

Presenta una precipitación más bien baja debido a su ubicación entre la Cordillera Oriental y Occidental, y está a una elevación desde los 1400 a los 3000 metros. Su vegetación ha sido sustituida por pastizales, sembríos y bosques de árboles exóticos, aunque en su origen dominaban los arbustos. También en las zonas donde están los valles secos la vegetación presente es espinosa. Aquí puedes aprender más sobre los Matorrales (Vives, 2025).

Bosque Alto Andino

Este bosque se ubica a una altura entre 3500 y 4500 m.s.n.m, en forma de islas o parches boscosos, dentro de los páramos y superpáramos, son bosques bajos dominados

generalmente por diferentes especies de Polylepis y árboles de otros géneros que se han adaptado al ecosistema y las variaciones del clima, se encuentran frecuentemente en laderas empinadas donde existen grupos sueltos de piedras y alrededor de las lagunas, su extensión ha sido restringida un poco por la extracción de leña o por el fuego para la producción agrícola o ganadera, albergando una alta diversidad de flora y fauna (Llambí et al., n.d.).

Páramo desértico o superpáramo

Se destaca la presencia de los frallejones gigantes, se encuentran a una altura de 4000 m.s.n.m, en países como Venezuela y Colombia, estos son pequeños arbustos, hierbas y plantas en forma de cojín o almohadillas dado su carácter desértico, la vegetación se da en parches, con mucho suelo desnudo, las plantas presentan adaptaciones ecofisiológicas para resistir la alta radiación solar durante el día y las temperaturas congelantes durante las noches, sobre todo por el cambio climático (Llambí et al., n.d.).

Humedales altoandinos

Estos humedales incluyen ciénegas, pantanos, céspedes, pastizales y turberas, normalmente se encuentran en los fondos de los valles altos o en zonas de acumulación de agua y sedimento, llantas pequeñas dominan su paisaje como cojines, rosetas enanas, musgos, gramíneas, arbustos pequeños y generalmente no hay árboles ya que poseen especies únicas que no existen en otros tipos de vegetación paramera, son ambientes de alta micro-heterogeneidad ambiental, ya que los cambios en la micro-relieve y los patrones de drenaje del agua, pueden generar cambios en la vegetación y la distribución de las plantas en unos pocos metros (Llambí et al., n.d.).

Disturbios en los páramos

Los disturbios afectan la dinámica de los ecosistemas en todos los niveles de organización, desde individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes.

Un disturbio es cualquier evento discreto en el tiempo que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población, ocasionando cambios en la distribución de los recursos, la disponibilidad de sustratos o las características del ambiente físico, también lo definen como un evento discreto en el tiempo, externo al nivel jerárquico de interés, capaz de cambiar la estructura mínima de una entidad ecológica (Vargas, 2014).

Disturbios por fuego

El uso del fuego ligado a la agricultura y especialmente a la ganadería extensiva como medio de subsistencia es una práctica común en los páramos. Para entender el papel del fuego en un ecosistema es muy importante conocer el régimen de fuego. Un régimen de fuego tiene cinco componentes: la frecuencia, la intensidad, la estacionalidad, la extensión, el patrón y el tipo de fuego (Vargas, 2014).

Frecuencia

Con respecto al periodo de recuperación de la biomasa después de ocurrido un fuego, en el Parque Nacional Natural Los Nevados, calcula un intervalo entre 3 a 3.5 años para la regeneración de la fisionomía de la comunidad y de 10 años para la regeneración del frailejonal –pajonal inicial y reportan 8 años para la recuperación de la cobertura de macollas en páramos de la cordillera Central (Vargas, 2014).

Intensidad

La intensidad de un fuego está relacionada con factores como clima, topografía, cantidad, tipo, características físico - químicas y distribución horizontal y vertical del combustible. Un sitio que ha sido quemado recientemente será incapaz de acumular adecuada cantidad de combustible que garantice un fuego intenso. De forma que existe una estrecha relación entre intensidad y frecuencia de fuego. La severidad del fuego es

una función del intervalo desde la última quema. Así, fuegos frecuentes tienden a ser menos severos que los infrecuentes (Vargas, 2014).

Estacionalidad

El potencial de la frecuencia de fuego está determinado por la cantidad de precipitación y su distribución, así como la disponibilidad de combustible que es igual a la cantidad de biomasa quemable que queda después del consumo por animales. Las quemas en el páramo ocurren en la época seca, cuando es posible que solo dos días sean suficientes para secar la vegetación en un páramo atmosféricamente seco. En un páramo húmedo este periodo puede ser mayor para vegetación tipo chuscales de suelos mal drenados (Vargas, 2014).

Extensión

En los páramos la heterogeneidad del paisaje es el principal factor que impide la extensión del fuego, a través de barreras naturales o artificiales (como carreteras). Además, la heterogeneidad de la vegetación asociada con ciertos suelos o topografía puede ser importante puesto que algunas comunidades de plantas pueden actuar como barreras, como es el caso de la vegetación zonal en el páramo.

Dado que los patrones de distribución de la vegetación dependen en gran medida del régimen de disturbio la extensión y los patrones discontinuos o en parches de los eventos de fuego son en consecuencia influenciados por los patrones espaciales de fuegos pasados (Vargas, 2014).

Disturbios por ganadería

La intensificación de la ganadería, en Latino América está catalogada como una actividad responsable de la destrucción de re-

cursos naturales, como el suelo, agua, biodiversidad entre otros, a más generar emisiones de carbono y aportar escasos beneficios

sociales, especialmente para los pequeños ganaderos. Sin embargo, el uso del ecosistema paramo por las poblaciones que ha bitan estos ecosistemas o sus límites, en actividades agrícolas o ganaderas permite gestionar su economía y alimentación. Las condiciones de pobreza y deterioro de los recursos productivos en las zonas bajas han obligado a los pequeños ganaderos a buscar en los páramos alternativas para la producción pecuaria

En cuanto, a la ganadería en los páramos, desde la conquista las comunas campesinas, fueron obligadas a dejar los valles (tierras fértiles) y ubicarse en tierras altas. En éstas, desarrollaron sistemas productivos, con base en su conocimiento local, adaptaron la naturaleza, combinaron la agricultura con la ganadería menor (ovinos y auquénidos), especialmente las familias jóvenes sin tierra o con parcelas muy pequeñas (Pomboza & Parco, 2022).

Disturbios por agricultura

El cultivo de papa es el principal impacto de la agricultura en el páramo en la actualidad se presenta un progresivo avance de la frontera agrícola que está transformado extensas áreas de páramo, y su intensificación implica utilización de maquinaria agrícola y de insumos químicos para fertilización, y pesticidas para el control de plagas.

La utilización de maquinaria para estos cultivos conlleva una alteración profunda del suelo, mientras que su extensión y demanda de insumos requiere de enormes cantidades de agua para riego, y genera grandes cantidades de contaminantes al suelo y al agua. Adicionalmente, el carácter intensivo de este tipo de agricultura determina que las parcelas utilizadas sean excluidas de los ciclos de regeneración natural por periodos de tiempo mucho más largos, seguramente comprometiendo la recuperación potencial de esas tierras (Vargas, 2014).

Disturbios por minería

Los diferentes tipos de minería tienen un efecto catastrófico en los páramos, dada su fragilidad, sus bajas tasas de recuperación y, sobre todo, el impacto sobre la red hídrica conformada por suelos, lagunas, ríos, cubetas, turberas, humedales estacionales y aguas subterráneas (Vargas, 2014).

Los páramos son ecosistemas de mucho valor ecológico por sus servicios ecosistémicos: agua, y suelo (acumulación de carbono) y por su biodiversidad (de las montañas del mundo los páramos andinos son los más ricos en especies de plantas). Podríamos decir que los páramos en su conjunto son uno de los ecosistemas del mundo con mayor heterogeneidad ambiental. Los principales impactos de la minería sobre los páramos son los siguientes:

- Alteraciones y destrucción de la dinámica hidrológica a escala local y regional.

El valor más importante del páramo es su función hídrica y su valor de uso directo e indirecto. La heterogeneidad ambiental del páramo, producto de su herencia glaciar, modeló una compleja red hídrica que funciona a escalas locales y regionales alimentando grandes y pequeñas cuencas hidrográficas.

La minería, al alterar la topografía y las unidades geomorfológicas, destruye a escala local y regional el suministro hídrico. Las actividades mineras (como en el caso de la extracción de oro) disminuyen los caudales, y junto con los cambios estacionales pueden llevar a que los acueductos regionales no logren responder a la demanda de agua, lo cual en un escenario de cambio climático puede ser desastroso (Vargas, 2014).

Páramo

El páramo es un ecosistema que se encuentra en diversas áreas montañosas tropicales, ubicado entre las nieves eternas y los bosques. Este se localiza en

Sudamérica, Costa Rica, Asia, África y Oceanía, a altitudes de entre 3. 000 y 4. 000 m.s.n.m. Alrededor del 99%, se sitúa en la cordillera de los Andes, abarcando desde Venezuela hasta Colombia, incluyendo Ecuador, así como en la Sierra Nevada de Santa Marta y en Costa Rica. En estas áreas, se puede notar que en la parte superior del páramo la vegetación es inexistente, mientras que, en la parte inferior, donde se encuentra la zona altoandina, hay un área de transición entre el bosque y el entorno del páramo, que se destaca por tener la mayor diversidad y altos niveles de especies endémicas vegetales. Determinar estos límites es complicado debido a la variabilidad en la vegetación causada por acciones humanas, como la agricultura y plantaciones forestales, así como por la invasión del ecosistema del páramo. A continuación se presenta el área en hectáreas que ocupan los páramos en los diferentes países de América (Rincón, 2015).

Tabla 1*:Área de páramos en América*

País	**Área Ha**
Costa Rica	8.000
Colombia	1.443.400
Ecuador	1.260.300
Perú	420.000
Venezuela	266.100

Fuente: (Rincón, 2015)

La palabra páramo actualmente se ha vuelvo difícil definirla ya que actualmente sus límites son difíciles de determinar debido a los cambios naturales históricos y la influencia de las actividades humanos por lo cual (Llambí et al., n.d.) menciona que las acciones de las personas han llevado a que, en ciertos casos, exista una área de

transición modificada entre el bosque y el páramo, en lugar de una separación definida que podría provocar disputas. Por ejemplo, en Colombia, en este momento, los límites del páramo son objeto de debate, ya que se ha prohibido la minería en esa zona, lo que involucra varios intereses económicos y políticos. No obstante, como una primera aproximación, se puede afirmar que el páramo representa un ecosistema natural que se sitúa entre el límite constante del bosque y el de los glaciares, en las altas montañas tropicales húmedas (Llambí et al., n.d.).

Servicios ecosistémicos

Los servicios que ofrece el ecosistema se entienden como los beneficios que las personas obtienen de las funciones de esos ecosistemas, ya sea de modo directo o indirecto. La diversidad de servicios que brindan los ecosistemas se puede agrupar en distintas clases, facilitando así su valoración y reconocimiento. Una de las clasificaciones más conocidas y reconocidas a nivel global es la presentada en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005), que se fundamenta en cuatro directrices funcionales, las cuales se pueden consultar en la siguiente tabla (Pinos-morocho et al., 2021):

***Tabla 2**: Clasificación de servicios ecosistémicos y sus funciones*

Clasificación de servicios ecosistémicos y sus funciones	
Servicios Ecosistémicos de Aprovisionamiento (SEA)	Consideran los productos obtenidos de los ecosistemas, como alimentos, agua dulce para consumo, leña, recursos genéticos, entre otros.
Servicios Ecosistémicos de Regulación (SER	Son las ventajas que se derivan de la gestión de los diversos procedimientos

	ecológicos, tales como el control del clima, la absorción, el nivel y la retención de carbono, la pureza del aire, la regulación y el tratamiento del agua, la polinización, entre otros (Pinos-morocho et al., 2021).
Servicios Ecosistémicos Culturales (SEC)	Son ventajas no tangibles que aportan los ecosistemas, tales como el bienestar espiritual y religioso, el esparcimiento y el turismo, la belleza del paisaje, la identidad de un lugar, la herencia cultural, y otros aspectos (Pinos-morocho et al., 2021).
Servicios Ecosistémicos de Soporte (SES)	Clasificados como uno de los servicios más difíciles de reconocer, son esenciales para la generación de otros servicios de ecosistemas, tales como la creación de suelos, la reutilización de nutrientes, la producción primaria, entre otros (Pinos-morocho et al., 2021).

Con la clasificación de las diferentes coberturas vegetales que podemos encontrar en los páramos es necesario entender cómo se definen y clasifican los suelos ya que depende mucho de este para que exista la variación de coberturas ya que estos varían por la ubicación, muchos suelos varían por las condiciones climáticas.

Suelo

El suelo es la porción más superficial de la corteza terrestre y estos se forman por la meteorización, es decir, por la alteración fisicoquímica del material parental el cual es el material sin consolidar o menos alterado con el paso del tiempo. Este proceso es altamente influenciado por las variables climáticas, principalmente temperatura y precipitación, que determinan la humedad del suelo y el tiempo transcurrido desde el inicio de la alteración del material parental, la interacción que existe entre estos factores condiciona la progresión de los procesos que forman los suelos (Calispa & Vasconez, 2023).

En el Ecuador, La creación de suelos en los páramos está íntimamente vinculada a la actividad volcánica. Según esto, la cordillera de los Andes en Ecuador puede ser fraccionada en tres áreas. La primera área se localiza entre las provincias de Carchi e Imbabura, conocida como la zona norte, que se distingue por tener una actividad volcánica limitada. Los materiales involucrados en su formación provienen de erupciones que ocurrieron durante el inicio del Holoceno, abarcando un período de 12 mil años, hasta antes del inicio de la historia registrada. La segunda área comprende las provincias de Pichincha y Chimborazo, conocida como la zona central, que se caracteriza por el continuo rejuvenecimiento de los suelos debido a la incorporación de nuevos materiales volcánicos, resultado de erupciones más recientes. Finalmente, la tercera área es la zona sur, situada entre la parte sur de la provincia de Chimborazo y la provincia de Loja, donde no se encuentran depósitos volcánicos del Cuaternario y los materiales parentales para el desarrollo del suelo provienen de materiales de hace 2. 6 millones de años. Estas divisiones regionales están relacionadas a nivel macro con los distintos tipos de suelos predominantes en los páramos ecuatorianos, por lo que es

fundamental conocer a fondo las características de estos suelos, lo que facilita la identificación de las variaciones en la cubierta vegetal (Calispa & Vasconez, 2023).

Tipos de suelo

Hay varios métodos para clasificar los tipos de terrenos basados en diferentes factores. No obstante, en esta ocasión, enfocaremos nuestra atención en los tipos de suelos más utilizados por los agricultores y ganaderos, así como en la manera de reconocerlos (COARVAL, 2022).

En nuestra clasificación, vamos a hablar de 6 tipos de suelos diferentes:

Suelos Arcillosos

Los terrenos de arcilla son comúnmente conocidos como firmes, densos o calurosos. Esto se debe a su notable habilidad para almacenar agua. Esta característica puede verse como un aspecto positivo durante las temporadas de precipitaciones moderadas o intensas. Sin embargo, en épocas de sequía, esto se torna en desventaja, ya que retienen el agua de manera intensa y limitan el acceso de las plantas a la misma. Normalmente, estos suelos son muy productivos porque tienen una alta capacidad de conservar nutrientes, lo que les permite adaptarse bien a la fertilización externa y dificulta la pérdida de los nutrientes que se les suministran (COARVAL, 2022).

Suelos Calizos o Albarizas

La causa de estos suelos es la descomposición de la roca caliza, que produce una gran cantidad de esta, dándole al terreno un tono blanquecino.

Sus propiedades son casi idénticas a las de los suelos de arcilla. No obstante, poseen un pH notablemente alto, lo que genera complicaciones al obstaculizar la disponibilidad de ciertos macronutrientes y micronutrientes vitales para el crecimiento de las plantas (COARVAL, 2022).

Suelos Limosos

Este tipo de terrenos tiende a ser de un tono amarillento anaranjado y enfrenta el inconveniente de poseer una alta tendencia a compactarse, lo que resulta en una baja infiltración de agua y una deficiente circulación de aire en las raíces de las plantas.

Los suelos limosos, por su parte, también presentan una fertilidad media a baja, lo que complica su manejo (COARVAL, 2022).

Suelos Arenosos

Los suelos arenosos, cuando están moderadamente húmedos, se trabajan fácilmente y tienen un excelente drenaje, lo que provoca que se sequen rápidamente. Debido a su alta capacidad para permitir la infiltración, estos terrenos son porosos y bien aireados, lo que favorece la rápida descomposición de la materia orgánica. En contraste con los suelos arcillosos, estos presentan una menor erosión, principalmente porque el agua penetra en ellos con mayor facilidad. Sin embargo, su fertilidad es inferior en comparación con los suelos arcillosos, dado que poseen menos partículas que tienen actividad química (COARVAL, 2022) .

Suelos Francos

También se les conoce como tierras moderadamente húmedas, localizándose entre suelos arcillosos y arenosos. Poseen una textura intermedia y una adecuada habilidad para retener agua, así como para liberarla a las plantas. Se sitúan entre los suelos arcillosos y arenosos, destacándose por su fertilidad promedio, nivel medio de erosión y capacidad media para mineralizar materia orgánica.

Este tipo de suelo resulta muy atractivo para cultivar plantas perennes como el olivo, el almendro o la vid. Además, su manejo se torna más sencillo para los agricultores (COARVAL, 2022).

Suelos Salinos

Finalmente, los terrenos salinos, como su nombre sugieren, poseen un alto contenido de sales, sin importar la clase de textura del suelo. Al mezclar un suelo de tipo arcilloso con uno salino, se observa una notable reducción en la capacidad de producción del terreno.

El problema más significativo que se presenta es la dificultad extrema que enfrentan las plantas para absorber el agua. Esto significa que en estos tipos de suelos solamente pueden crecer ejemplares que se han adaptado a estas condiciones.

La principal característica de adaptación de estas especies es que deben gastar energía para extraer el agua del suelo, lo cual conlleva a pérdidas energéticas que afectan la producción agropecuaria.

Ph

El pH del suelo expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de hidrogeniones H+ que existen en el suelo ya que este condiciona gran cantidad de acciones en el suelo afectando a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En la escala de pH el valor máximo es de 14, siendo el valor de pH = 7, el correspondiente a un suelo neutro por lo que se consideran suelos ácidos todos aquellos que tienen valores inferiores a 7, y básicos todos los superiores a éste.

Las plantas cultivadas presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado. Si el suelo es demasiado ácido, en el complejo de cambio abundan los hidrogeniones y el aluminio, impidiendo que otros elementos necesarios tales como calcio, magnesio, sodio y potasio permanezcan en él, pues éstos son eliminados por el agua de lluvia o de riego.

Si el suelo tiene menos de 5,5 de valor de pH es conveniente elevarlo hasta al menos valores de 6,5, mediante aporte de una enmienda caliza, para que los elementos nutritivos puedan estar más fácilmente disponibles para las plantas.

Si el suelo es básico (suelos calizos), el complejo de cambio se encuentra saturado y el exceso de calcio en el medio impide que otros elementos, tales como el hierro, puedan ser absorbidos por las plantas.

El pH de un suelo puede disminuirse aplicando azufre, de forma que las tiobacterias del suelo lo transformen en ácido sulfúrico lentamente. Para bajar el pH con rapidez se puede emplear yeso, aunque la adición de yeso puede ocasionar desequilibrios respecto a otros cationes de cambio en suelos calizos. Algunos tipos de materia orgánica pueden ayudar a la disminución del pH, por ejemplo, las acículas de pino.

Además de los cationes minerales, el complejo arcillo - húmico es capaz de fijar los iones H+. Su presencia determina la reacción del medio, medida del pH.

Si el suelo tiene un pH inferior a 7, significa que hay sobre el complejo más iones H+ que cationes minerales caracterizándole como suelo ácido

- Si el pH es igual a 7, hay sobre el complejo igual cantidad de iones H+ que cationes minerales lo que caracteriza al suelo como neutro

- Si el pH es superior a 7, significa que hay sobre el complejo menos iones H+ que cationes minerales se identifica como suelo básico o alcalino

pH actual o H en agua

Cuando la solución que se pone en contacto con el suelo es agua destilada, está adquiere los cationes H+ que no están retenidos por el complejo de cambio, es decir, los que posee o poseería la solución acuosa del propio suelo. Al pH medido en estas condiciones se denomina pH actual

Estos cationes libres (H+) no retenidos por el complejo de cambio, tienen una gran actividad química dentro del suelo, e influencian notablemente la vida microbiana, pudiendo calificarlos de manera gráfica como los reguladores del funcionamiento general del suelo (Soto et al., n.d.).

En la siguiente tabla se describen los niveles validados cuando el pH se ha determinado en una suspensión de relación (suelo: agua) (1: 2.5).

Tabla 3: *Niveles de pH relación (suelo: agua)*

pH (agua 1:2.5)	Tipo	Observaciones
Menor de 5,5	Muy Ácido	Dificultad de desarrollo de la mayoría de los cultivos, dificultad de retención de muchos nutrientes
5,5-6,5	Ácido	Dificultad de desarrollo de algunos cultivos, dificultad de retención de nutrientes
6,5-7,5	Neutro o cercano a la neutralidad	Óptimo para el desarrollo de los cultivos
7,5-8,5	Básico	Cierta dificultad para el desarrollo de cultivos exigentes
Mayor de 8,5	Muy básico	Dificultad de desarrollo de la mayoría de

	los cultivos, posible aparición de clorosis férrica.

(Soto et al., n.d.).

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) se define como la capacidad del suelo para conducir una corriente eléctrica, expresada en unidades de dS/m (decisiemens por metro) o mS/cm (milisiemens por centímetro). Según la Universidad de Nebraska-Lincoln Extension, la CE está influenciada principalmente por la concentración de iones (sales disueltas) en la solución del suelo, la cantidad de agua presente y la textura del suelo. Cuanto mayor es la concentración de sales, mayor es la CE, lo que puede indicar problemas de salinidad (Corwin & Plant, 2005).

Materia Orgánica

Materia orgánica está ligado a la noción más compleja de fertilidad del suelo y a la percepción cambiante del medio ambiente por el ser humano. Varios factores influyen para que exista la materia orgánica en el suelo entre estos la vegetación, el clima, la textura del suelo y el laboreo que se realiza en los suelos. Las bajas temperaturas a las que se encuentra el páramo provocan un proceso lento en la descomposición del material vegetal produciendo una menor cantidad de materia orgánica (Gabriela, 2021) .

Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad

importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.

La textura de los suelos, originan estructuras diferentes en cuanto a porosidad y agregación, que dan lugar a posibles problemas de: endurecimiento, aireación, capacidad de retención hídrica, permeabilidad, etc.

Según (FAO, 2017) su textura podemos distinguir tres tipos de suelos: arena, arcilla y limo.

- ✓ La arena es la que existe en los diversos ríos. Los suelos arenosos, como son más sueltos son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas.
- ✓ Los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio son fértiles y fáciles de trabajar. Forman terrones fáciles de desagregar cuando están secos.
- ✓ La arcilla son partículas muy finas y forman barro cuando están saturadas de agua. Los suelos arcillosos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

Captura de carbono

La actividad del hombre (combustión de combustibles fósiles), aumenta las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmosfera aumentando el calentamiento global es por eso por lo que el reservorio mayoritario de carbono se da en los suelos de los páramos ya que se consideran altamente significativos en la mitigación frente al cambio climático. Las temperaturas bajas en estas zonas protegidas disminuyen la velocidad de separación de la materia orgánica. La reforestación ha hecho que aumente ligeramente la cantidad de carbono tanto para la biomasa aérea como para la biomasa subterránea,

ya que está relacionado con la cantidad de árboles que estén a su alrededor. “Las cuatro partes en donde el carbono es capturado son: vegetación aérea, vegetación radicular, necromasa y suelos”, el carbono en el suelo en estas áreas protegidas a una profundidad de un 11 metro se encuentra aproximadamente entre 4 kg/m2 en las zonas áridas y 21-24 kg/m2 en las regiones húmedas, con valores intermedios de 8 a 10 kg/m2 en las zonas tropicales (Gabriela, 2021).

Análisis Multitemporal

Esta técnica se utiliza para comprender imágenes de satélite que sirven como fundamento para examinar las transformaciones en la superficie del planeta a lo largo del tiempo. La esencia de esta herramienta radica en buscar datos de diversas fechas para comparar y evaluar las alteraciones en la vegetación, el crecimiento urbano, la erosión del suelo, y otros factores. El objetivo de recolectar esta información es evaluarla y supervisarla mediante una interpretación adecuada, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas respecto a los recursos naturales. Esto resulta esencial para las decisiones en el desarrollo urbano y la administración ambiental. Hay varios programas que permiten realizar análisis en diferentes momentos; entre ellos, se encuentran ArcGis, QGIS, Google Earth Engine y ERDAS Imagine, entre otros

Cada uno de los softwares cumplen un propósito la cual mediante fórmulas algebraicas entre las diferentes bandas se pueden evidenciar la variabilidad de las coberturas vegetales a través del tiempo, identificando las zonas que se hayan visto afectadas por eventos naturales o antrópicos (Chuvieco, 1990).

Índices Espectrales

Los índices espectrales de vegetación son imágenes obtenidas a partir de una serie de fórmulas algebraicas entre las diferentes bandas de la imagen satelital. Como resultado se puede observar gráficamente los pixeles relacionados con la cobertura

vegetal, entre los cuales están la densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica, por eso es de suma importancia su utilización (Nasrudin, 2023).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es un indicador simple de biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación. Este proceso exagera la separabilidad espectral de la vegetación y otras coberturas, haciendo más visible a la vegetación en la nueva banda, así mismo permite visualizar otros objetos. Esta altamente relacionado con la densidad del área foliar de vegetación, con el verdor de la vegetación, con la cantidad de biomasa (Nasrudin, 2023).

$$Fòrmula = \frac{(NIR\ -\ RED)}{(NIR\ +\ RED)}$$

En donde, NIR es la banda 8 y Red la banda 4.

Técnicas de teledetección

Al mencionar la teledetección se puede decir que es el conjunto de instrumentos que permite obtener información de un objeto sin estar en contacto con él, simplemente escaneándolo a distancia. Los usos y aplicaciones que tiene la teledetección espacial son cada vez más y más numerosos y abarcando cada vez más campos, desde agricultura hasta oceanografía, pasando por labores humanitarias o en las fuerzas armadas. Podemos distinguir entre teledetección activa y pasiva en función de cómo trabaja el instrumento.

Es una técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. Por tanto, es muy importante porque facilita es estudio de diferentes problemáticas y fenómenos ahorrando tiempo y dinero. Cabe

resaltar que esta técnica no funciona por si sola, para ello necesita una serie de componentes.

Componentes principales de la teledetección

Los componentes de la teledetección son importantes porque aquí se muestra el proceso para llegar a lo que se desea, entre los cuales se tienen:

Fuente de energía, es el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor, cuando proviene de una fuente externa a este se denomina teledetección pasiva, si el haz de luz es emitido por el sensor, entonces se denomina teledetección activa.

Cubierta terrestre, está conformada por todas las distintas coberturas vegetases, suelos, construcciones humanas y cuerpos de agua, que reciben la energía y la reflejan según sus características físicas.

Sistema sensor, lo conforman el sensor propiamente dicho y la plataforma que lo contiene. Tiene como misión capturar la energía que proviene de las cubiertas terrestres, codificarlas y grabarlas o enviarlas directamente al sistema de recepción

Sistema de recepción, es aquí donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en el formato indicado, se realizan las correcciones necesarias y se distribuye a los usuarios

Intérprete, es el responsable de transformar esos datos en información temática en su área de interés, en forma visual o digitalmente con miras a dar respuesta a un problema determinado.

Usuario final, es el encargado de analizar el resultado producto de la interpretación, así como de las aplicaciones que dé él se deriven (Chuvieco, 1990).

Imágenes satelitales

Una imagen satelital es una fotografía de la superficie de la Tierra tomada desde el espacio por un satélite artificial. Estas imágenes son útiles para estudiar el clima, la

vegetación, la contaminación, la geología, la topografía y la planificación urbana, entre otros. Estas imágenes se pueden obtener tanto de sensores activos como pasivos, los primeros ofrecen imágenes de radar y los otros ofrecen imágenes óptica (Félix, 2021).

Entre los principales satélites que ofrecen estas imágenes está:

- Sentinel
- Landsat
- Modis
- Aster
- Entre otros

2.4. Legal

Constitución de la república del Ecuador

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

Literal 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural(Martínez et al., 2011) .

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona(Martínez et al., 2011).

Según (Martínez et al., 2011) **Art. 410.-** El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

Art. 7.- Implicaciones de la función social y ambiental de la propiedad.- Para efectos de esta Ley, la función social y ambiental de la propiedad en el suelo urbano y rural de expansión urbana implica:

Literal 6. Conservar el suelo, los edificios, las construcciones y las instalaciones en las condiciones adecuadas para evitar daños al patrimonio natural y cultural, y a la seguridad de las personas.

La función social y ambiental de la propiedad en el suelo rural se establece en las leyes que regulan el suelo productivo, extractivo y de conservación(Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, 2016).

Art. 19.- Suelo rural. - El suelo rural es el destinado principalmente a actividades agroproductivas, extractivas o forestales, o el que por sus especiales características biofísicas o geográficas deben ser protegido o reservado para f uturos usos urbanos. Para el suelo rural se establece la siguiente subclasificación:

Literal 4. Suelo rural de protección. Es el suelo rural que, por sus especiales características biofísicas, ambientales, paisajísticas, socioculturales, o por presentar factores de riesgo, merece medidas específicas de protección. No es un suelo apto para recibir actividades de ningún tipo, que modifiquen su condición de suelo de protección, por lo que se encuentra restringida la construcción y el fraccionamiento. Para la declaratoria de suelo rural de protección se observará la legislación nacional que sea aplicable(Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, 2016).

2.5. Conceptual (glosario de términos)

Suelo. - El suelo es la porción más superficial de la corteza terrestre, resultado de la desintegración de las rocas y la acumulación de materia orgánica a lo largo del tiempo. Su formación es un proceso lento y complejo que depende de factores como el clima, el relieve, los organismos vivos, el material de origen y el paso del tiempo (Sposob, 2025)

Cobertura vegetal. - La cobertura vegetal se define como la presencia de material vegetal verde y seco en la superficie, lo cual desempeña un papel crucial en la protección contra la erosión eólica, especialmente durante los cambios estacionales influenciados por períodos húmedos y secos. Incluye tanto la vegetación viva como la materia vegetal residual, como los residuos de cultivos y la hojarasca, que contribuyen a la estabilidad del suelo (Abdourhamane Touré et al., 2019).

Teledetección. - La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (Instituto Geográfico Nacional, n.d.).

Textura. - La textura se refiere al tamaño de las partículas que forman el suelo. Los términos arena, limo y arcilla se refieren a tamaños relativos de las partículas del suelo. La arena, al ser el tamaño más grande de partículas, se siente arenosa. La arcilla, al ser el tamaño más pequeño de las partículas, se siente pegajosa. Se necesitan 5.000 partículas de arcilla alineadas para medir un centímetro. El limo, de tamaño moderado, tiene una textura suave o harinosa (Sola, n.d.).

Litología. - La litología es el campo de la geología que estudia las características físicas y químicas de las rocas que componen una determinada formación geológica, y

su incidencia en la formación del relieve terrestre. Es diferente de la petrología en que no se ocupa de un tipo de roca en particular, sino que aborda la investigación desde el punto de vista del territorio, es decir, todas las rocas que ocupan una región (DigitalOcean, 2024).

CAPITULO III.

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El presente proyecto se enmarca en un tipo de investigación correlacional, debido a que tiene como propósito analizar la relación entre el grado de degradación de la cobertura vegetal con los tipos de suelos donde se asocian las propiedades físicas-químicas como pH, Conductividad eléctrica, materia orgánica, textura, carbono, nitrógeno, hidrogeno y azufre en la reserva de páramo Cruz de Ventanas.

Este tipo de investigación no se limita a describir el comportamiento de las variables de estudio, sino que busca determinar la magnitud y dirección de las relaciones entre ellas, donde permite comprender la influencia de las características edáficas en los procesos de degradación de la cobertura vegetal. Con los resultados obtenidos se generará información científica la cual servirá de base para la formulación de medidas de mitigación orientadas a la protección de los recursos naturales.

3.2. Enfoque de la investigación

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque mixto, debido a que integra métodos cualitativos y cuantitativos para analizar la influencia de los tipos de suelos en la degradación de la cobertura vegetal en la zona de páramo de la comunidad Cruz de Ventanas.

En el enfoque cuantitativo, se realizará la recopilación de 21 muestras de suelo del área de conservación las cuales serán extraídas de diferentes puntos y obtener datos mediante análisis en el laboratorio de las propiedades físicas-químicas del suelo. Estos resultados permitirán determinar la influencia de dichas características edáficas en la degradación de la cobertura vegetal.

Por otro lado, el enfoque cualitativo permitirá realizar una interpretación de condiciones ambientales y ecológicas en el área de conservación, considerando las características de la vegetación, procesos de degradación y dinámica ecológica observados en campo. La combinación de estos enfoques permitirá tener una visión más completa del fenómeno estudiado, fortaleciendo la validez de los resultados con una base técnica y así fortalecer la formulación de medidas de mitigación.

3.3. Métodos de Investigación

Para el cumplimiento del objetivo uno se adopta el método descriptivo, donde se caracteriza la cobertura vegetal mediante la clasificación de la escala NDVI y sus variaciones temporales en la zona de estudio. De la misma forma se aplicó el método de observación científica indirectamente mediante el uso de técnicas de teledetección y el procesamiento de 150 imágenes NDVI correspondientes al periodo 2017 – 2026, identificando de esta forma las tendencias de degradación, estabilidad o recuperación de la cobertura vegetal en el ecosistema de páramo.

Para el desarrollo del objetivo dos se empleó un método analítico, en donde se estudió de forma individual las propiedades físicas - químicas del suelo obtenidas de las 21 muestras extraídas de la zona de estudio las cuales fueron analizadas en el laboratorio. Complementariamente, se utilizó el método correlacional mediante el cual se determinó la relación de las características edáficas y las zonas de degradación identificadas mediante un análisis multicriterio de imágenes NDVI, permitiendo así

establecer un grado de influencia de los diferentes puntos de muestreo de suelo en la zona de páramo Cruz de Ventanas.

Para el cumplimiento del objetivo tres se aplicó un método sintético, en donde se integró los resultados derivados del análisis de la cobertura vegetal y las propiedades físico - químicas del suelo. De igual manera se empleó el método deductivo para formular medidas de manejo, conservación y protección de los recursos naturales, en función a los hallazgos obtenidos durante la investigación y orientándolas a la mitigación de los procesos de degradación identificados en el área de estudio.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Para el desarrollo de esta investigación en el objetivo uno se utilizó el geoportal "EOSDA" plataforma que nos permitió la búsqueda, visualización y descarga de imágenes satelitales correspondiente a nuestra área de estudio, se recopilaron un total de 150 imágenes satelitales con una periodicidad mensual que comprende el periodo 2017 - 2026 las cuales constituyeron la base de datos para la evaluación de la dinámica de la cobertura vegetal.

Para el objetivo dos se seleccionaron 21 puntos de muestreo estratégicamente en la zona de estudio, donde se extrajeron muestras de suelo a una profundidad de 10 cm, correspondiente al horizonte superficial, las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas y georreferenciadas mediante la aplicación Avenza Maps, registrando las coordenadas geográficas, fecha, nombre de las personas que recogieron la muestra en cada una de las bolsas. Posteriormente las muestras fueron sometidas a un secado natural por 15 días a temperatura ambiente, triturar con un rodillo de madera sobre papel cartón para desagregar el material y retirar residuos orgánicos para tamizar y obtener muestras homogéneas aptas para los análisis físicos y químicos.

Finalmente, para el objetivo tres se utilizaron los resultados del índice NDVI obtenidos a partir de las imágenes satelitales y los análisis físicos-químicos de las 21 muestras de suelo, con esta información se constituyó la base de datos para evaluar la relación entre las características edáficas y la degradación de la cobertura vegetal, con esta base de datos científica se formuló las medidas de mitigación.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de la Información

Para el procesamiento y análisis de la información en esta investigación las 150 imágenes satelitales recopiladas del periodo 2017 – 2026 fueron procesadas mediante la plataforma Google Colab utilizando scripts desarrollados en Python, con esta información se realizó un análisis multitemporal de la cobertura vegetal mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este procedimiento permitió generar mapas temáticos para la identificación de anomalías, tendencia y variabilidad de la cobertura vegetal, también se pudo evaluar el comportamiento espacial y temporal dentro del área de estudio, estos resultados facilitaron la detección de zonas con proceso de degradación y recuperación en el periodo analizado.

Para el objetivo 2, se determinó el pH y la conductividad eléctrica mediante el método potenciométrico, mismo que consistió en pesar 20 g de cada muestra y se agregó 50 ml de agua destilada, posterior a ello se colocó por 5 minutos en el agitador orbital a 400 rpm y se dejó reposar por 30 minutos para finalmente leer en el potenciómetro previamente estandarizado. (Pinareque, N. Vásquez, J. y Núñez, K., 2013)

Interpretación

$$\text{pH} - H_2O$$

5.5 ácido

5.6 a 6.4 Ligeramente ácido

6.5 a 7.5 Prácticamente neutro

7.6 a 8.0 Ligeramente alcalino

8.1 Alcalino

Para la variable de textura se empleó el método de Bouyoucos y se clasifico mediante el esquema triangular de texturas de la U.S.D.A (United States Department of Agriculture). En este método se pesó 50 gramos de suelo seco y molido en vasos de precipitación plásticos, posterior se añadió 40 ml de floculante (hidróxido de sodio 0.1 normal), luego se dejó reposar durante 24 horas, finalizado el reposo licuar la muestra durante 10 minutos, trasvasar la muestra a una probeta de 1000 ml procurando que no se quede en el frasco restos de suelo y aforar, agitar 20 segundos y seguidamente colocar el densímetro en la probeta, para realizar la primera lectura a los 40 segundos, dejamos reposar, posterior a esto se deja reposar 2 horas y tomar la segunda lectura con densímetro sin agitación después de 40 segundos de colocado.

Procedimiento

Cálculos

% de Arena = 100 – (1ra. Lectura x 2)

% de Arcilla = 2da. Lectura x 2

% de Arena = 100 – (% Arena + % Arcilla)

Con los datos de porcentajes de arena, limo y arcilla interpolamos en el triángulo de textura y caracterizamos al suelo. (Conú, 2014)

Materia Orgánica

Esta variable se determinó mediante el contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black, la misma pesar 0.5 g de cada muestra y se les añadió 5 ml de dicromato de potasio a la 1 normal, más 10 ml de ácido sulfúrico concentrado,

posterior se agito por 1 minuto con el fin de homogenizar, después se dejó reposar por 30 minutos y se añadió en el siguiente orden, 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico al 85%y 5 gotas de di fenilamina obteniendo un color obscuro, el cual fue cambiado mediante la titulación con la sal de Mohr (sulfato ferroso) hasta que se tornó de color azul obscuro hacia el verde, para finalmente emplear la siguiente fórmula y obtener el porcentaje de materia orgánica.

$$\%MO = \frac{(Vo - V)\ x\ N\ x\ 0{,}39\ x\ 1{,}72\ x\ 1{,}1}{PM}$$

En donde:

Vo. - Volumen gastado en la titulación del blanco.

V.- Volumen gastado en la titulación de la muestra.

N.- Normalidad exacta del sulfato de hierro.

0,39.- Peso químico equivalente del carbono.

1,72.- Constante de conversión de C a MO.

1,1.- Error de conversión de C a MO (10%).

PM. - Peso de la muestra (Pinareque, N. Vásquez, J. y Núñez, K., 2013)

Para obtener los resultados de carbono total, nitrógeno total, hidrogeno total y azufre total se utilizó el método Dumas, donde se pesó en la balanza analítica 0,2 mg de muestra de suelo, seguido se colocó en platos de aluminio en forma de pastilla, para colocar en el equipo analizador elemental, donde se deja analizar por 24 horas.

CAPITULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado objetivo uno

Para la identificación de la cobertura vegetal y las variaciones en el tiempo se trabajó con 150 imágenes NDVI desde el año 2017- 2026 realizando una clasificación en valores que van desde -1 a 0 que nos indican superficies sin vegetación como agua libre, de 0.1 a 0.2 zonas rocosas o desiertos, es decir, tierras con escasa o nula actividad fotosintética, de 0.3 a 0.6 una vegetación escasa o con estrés es decir los pastizales, arbustos, praderas y campos en sequía o entrando en letargo y de 0.7 a 1 indican una vegetación exuberante y sana, como densas cubiertas vegetales.

En la siguiente tabla se evidencia un promedio de la variación de la cobertura vegetal en la extensión, donde se consideró las fechas más relevantes de zonas totalmente degradadas y zonas con una exuberante vegetación al igual zonas de transición entre estas dos etapas.

***Tabla 4**: NDVI con mayor extensión periodo 2017 - 2026*

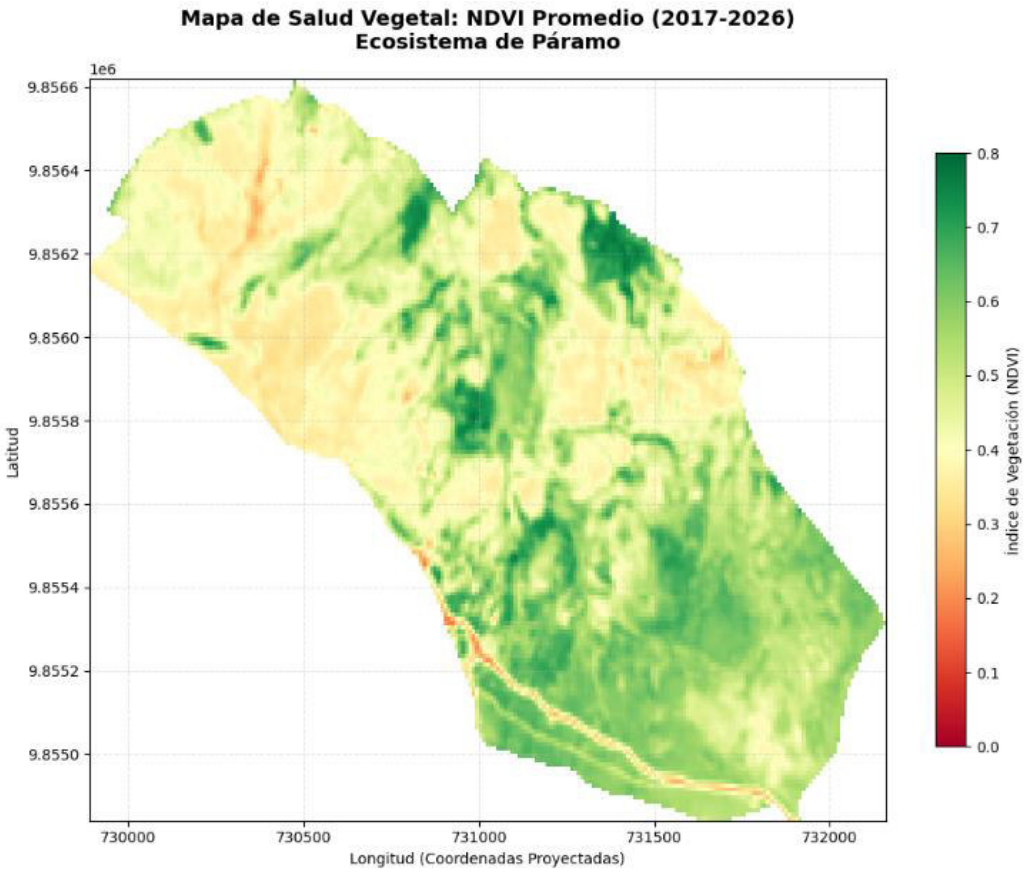
2019/abril/27			**2019/diciembre/08**			**2020/diciembre/27**			**2023/noviembre/17**		
NDVI	Tipo de Cobertura Vegetal	Extensión km²	NDVI	Tipo de Cobertura Vegetal	Extensión km²	NDVI	Tipo de Cobertura Vegetal	Extensión km²	NDVI	Tipo de Cobertura Vegetal	Extensión km²
0,1	1	0,00006	0,1	1	0,71065	0,1	1	0,00006	0,1	1	0,0004
0,2	2	0,00831	0,2	2	0,12256	0,4	2	0,54095	0,2	2	0,00430
0,6	3	1,97004	0,6	3	0,6663	0,6	3	0,85272	0,6	3	0,47089
0,8	4	0,04395	0,8	4	0,52241	0,8	4	0,62670	0,8	4	1,54577

Nota: Elaboración propia (2026).

Entre los años 2017 y 2026 se analizaron mensualmente las imágenes NDVI, por lo que las fechas presentadas en la tabla 4 corresponden a momentos representativos de los cambios observados en la serie temporal. En abril de 2019, predominó el NDVI de 0,6, con una extensión de 1,97004 km², lo que indica una mayor presencia de cobertura vegetal con vigor moderado-alto. En diciembre de 2019, la distribución cambió notablemente, destacándose el incremento de superficies con NDVI bajo (0,1 = 0,71065 km²), lo que evidencia una disminución temporal del vigor de la vegetación. Posteriormente, en diciembre de 2020, aumentó nuevamente la presencia de valores medios-altos, principalmente 0,6 (0,85272 km²) y 0,8 (0,62670 km²), indicando una recuperación o mejora de la condición de la cobertura vegetal respecto al periodo anterior.

Para noviembre de 2023, el comportamiento resulta particularmente relevante, debido a que el NDVI 0,8 alcanzó 1,54577 km², siendo la categoría con mayor extensión, mientras que los valores bajos de 0,1 y 0,2 representaron apenas 0,0004 y 0,00430 km², respectivamente. Esto demuestra que, entre las fechas representativas seleccionadas dentro de la serie mensual 2017–2026, la cobertura vegetal presenta variaciones temporales y no una disminución continua. Por ello, estos resultados permiten identificar periodos de menor y mayor vigor de la vegetación, pero por sí solos no demuestran una degradación progresiva; para establecer la existencia y magnitud de la degradación es necesario considerar conjuntamente la tendencia temporal, las anomalías y la variabilidad del NDVI obtenidas para toda la serie.

Gráfico 1: *NDVI Promedio 2017-2026 (Zona de Páramo)*

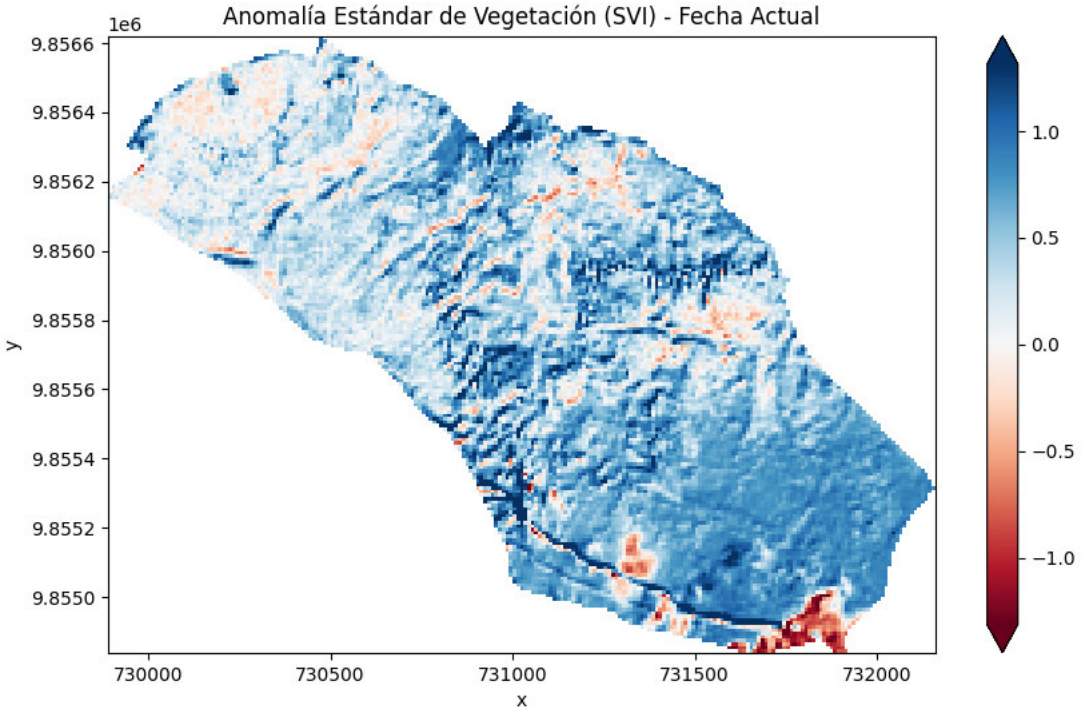


Nota: Elaboración propia (2026).

El Promedio de NDVI para el periodo (2017-2026) representa una caracterización basal de la productividad primaria neta en el ecosistema de páramo, esto se estableció mediante el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Los valores medios se distribuyeron de forma heterogénea en un rango de 0.45 a 0.82, en donde las zonas correspondientes al núcleo del ecosistema exhibieron valores estables y consolidados superiores a 0.72, lo cual es biofísicamente consistente por la presencia de vegetales densos como pajonales (*Calamagrostis effusa*) y parches de bosque altoandino (*Polylepis* spp.). Por el contrario, los valores inferiores a 0.50 se localizaron en las periferias y zonas con pendientes pronunciadas, delimitando sectores

con transiciones hacia suelo desnudo o vegetación con baja densidad foliar debido a restricciones edáficas o afloramientos rocosos.

Gráfico 2: *Anomalía Estándar de Vegetación (SVI) - Fecha Actual*

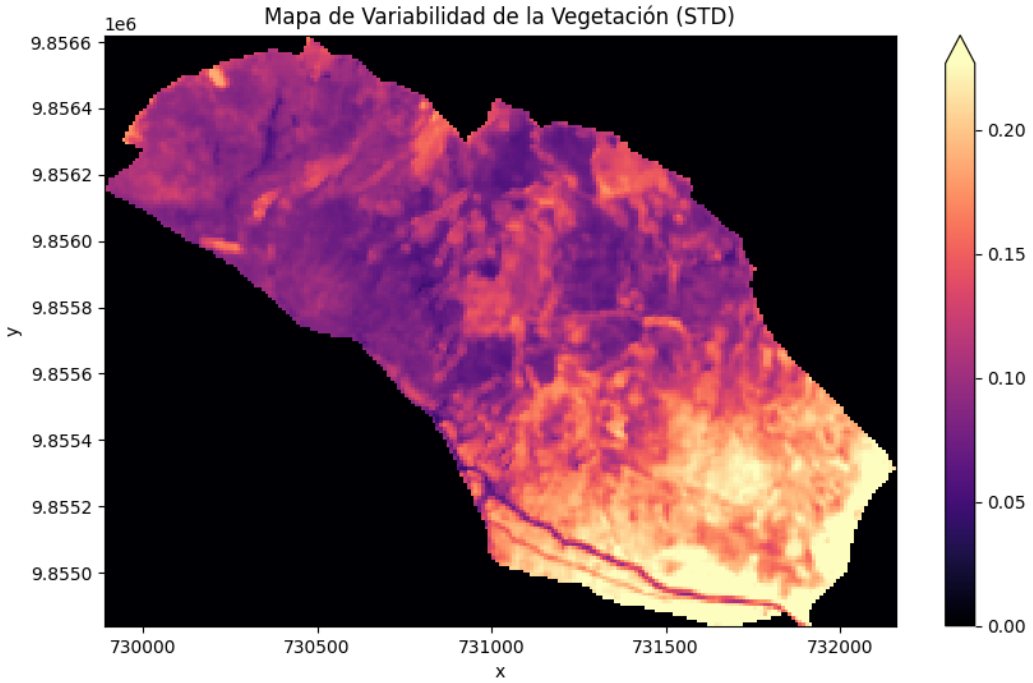


Nota: Elaboración propia (2026).

La Anomalía Estándar de Vegetación **(SVI)** para la fecha actual se calculó mediante la estandarización del NDVI respecto a su media histórica ($SVI = \frac{NDVI_i - \mu}{\sigma}$). Este indicador permite identificar desviaciones significativas del vigor vegetal revelando una distribución heterogénea. Gran parte del área presenta condiciones de vigor superiores al promedio histórico representadas de un azul claro a un azul intenso las cuales representan un ecosistema estable y otras zonas que van desde un rojo claro a

un rojo intenso los cuales son focos de estrés hídrico o degradación en el sector sur y noroeste de la zona.

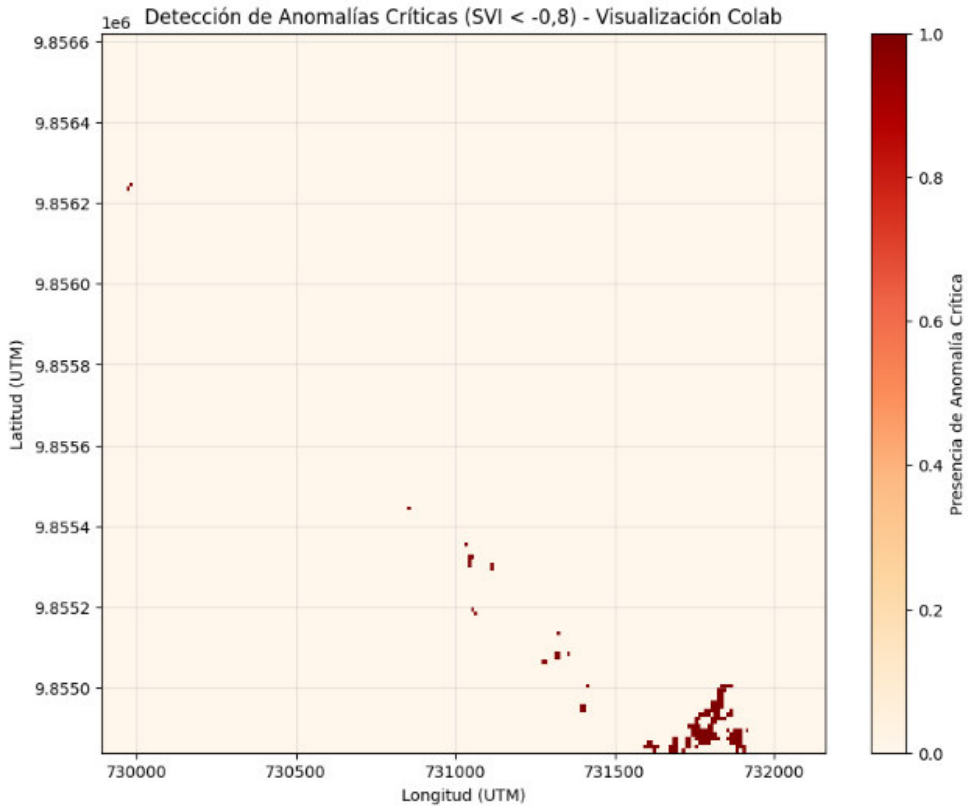
Gráfico 3: *Mapa de Variabilidad de la Vegetación (STD)*



Nota: Elaboración propia (2026).

La estabilidad de estos valores se contrastó con el Mapa de Variabilidad de la Vegetación (STD). En donde se observó que las zonas de menor variabilidad ($\sigma < 0.05$) coinciden con el núcleo del páramo conservado, mientras que las mayores fluctuaciones ($\sigma < 0.15$) se localizan en los márgenes de la cuenca y zonas de transición, sugiriendo áreas susceptibles a cambios fenológicos bruscos o presión antrópica.

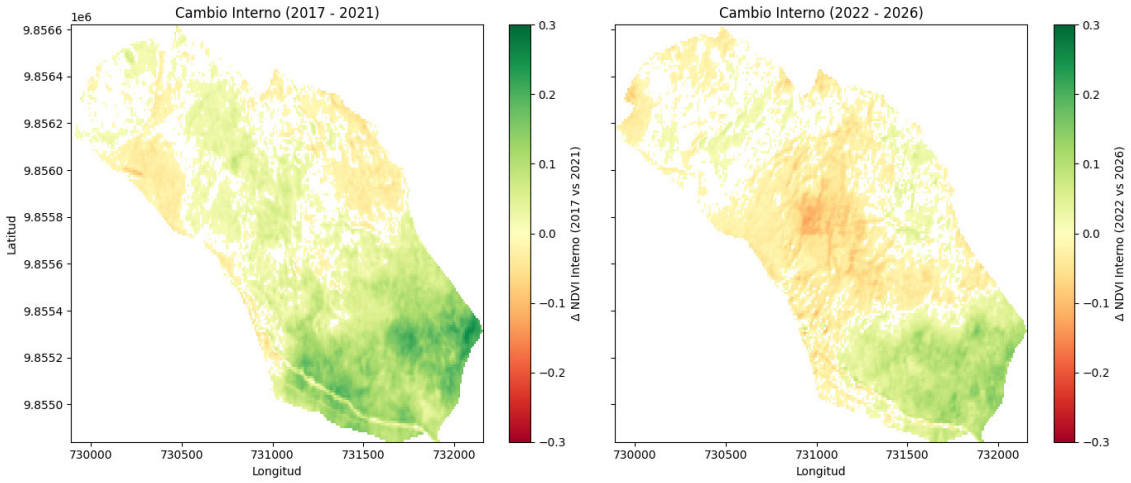
Gráfico 4: *Detección de Anomalías Críticas (SVI < -0,8) - Visualización Colab"*



Nota: Elaboración propia (2026).

Para la gestión del riesgo, se realizó la Detección de Anomalías Críticas (SVI < -0.8). Este umbral estadístico identificó píxeles con un retroceso significativo en el vigor fotosintético. Los resultados muestran clústeres críticos específicamente en el sector sureste específicamente en las coordenadas UTM 731500 - 9855000, que representan zonas de alerta temprana por posible degradación irreversible, incendios recientes o por tema de botaderos de basura en estas zonas específicas de la reserva ecológica.

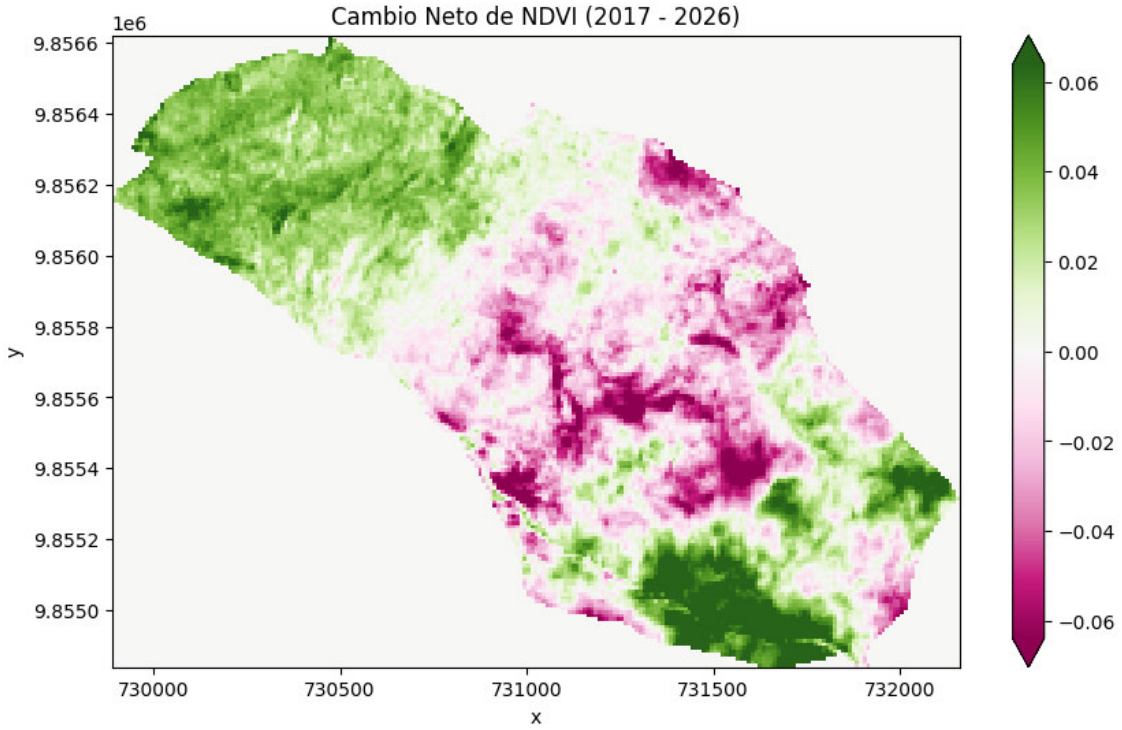
Gráfico 5: *Cambio en Salud Vegetal: 2017-2021 vs 2022-2026*



Nota: Elaboración propia (2026).

El Cambio en la Salud Vegetal se comparó los periodos 2017-2021 frente a 2022 - 2026 en donde revelan la trayectoria a mediano plazo del ecosistema. Este diferencial permite suprimir el ruido de la variabilidad interanual de corto plazo, evidenciando procesos de recuperación o degradación sostenida en la estructura de la vegetación del páramo, en donde la tonalidad de un rojo intenso a un rojo claro indica la pérdida total de cobertura vegetal y las zonas que van de un amarillo a un verde en donde se mantiene la cobertura vegetal.

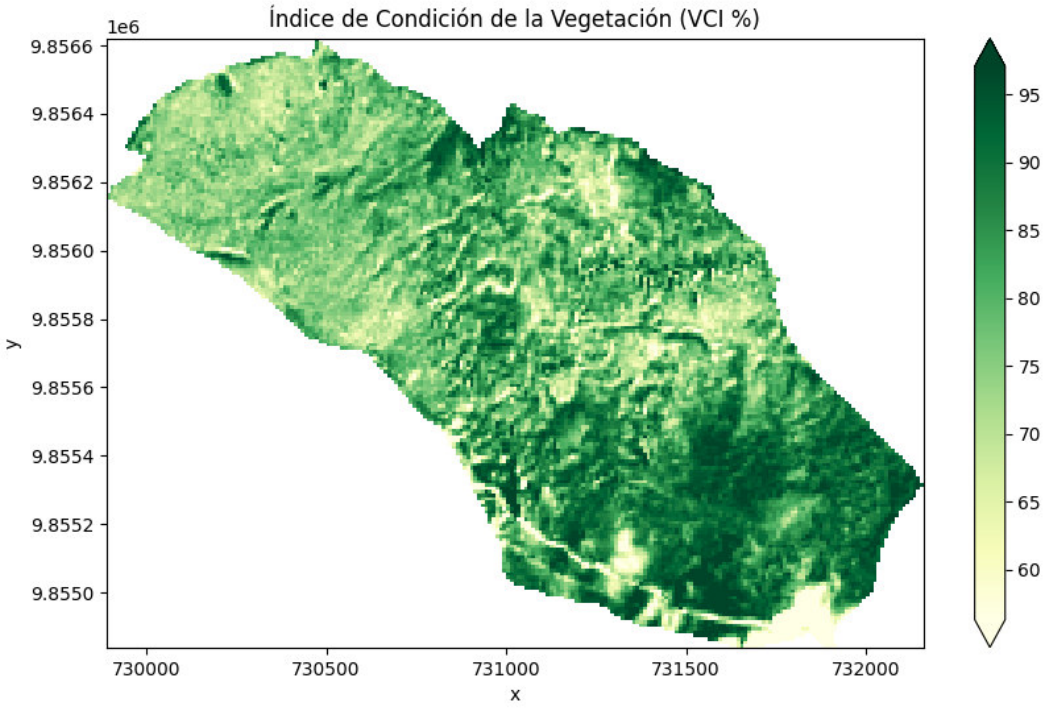
Gráfico 6: *Cambio Neto de NDVI (2017 - 2026)*



Nota: Elaboración propia (2026).

El Cambio Neto de NDVI (2017 - 2026) se determinó mediante la diferencia algebraica de los estados extremos de la serie temporal. El mapa resultante cuantifica la magnitud absoluta de la ganancia o pérdida de vigor fotosintético, las zonas de un rosa intenso a un rosa claro son las zonas en donde existe una pérdida de vegetación y los que van de un verde claro a intenso son donde existe una ganancia de cobertura. Este parámetro es fundamental para el balance de degradación de tierras, permitiendo identificar cambios drásticos en la cobertura que requieren validación en campo.

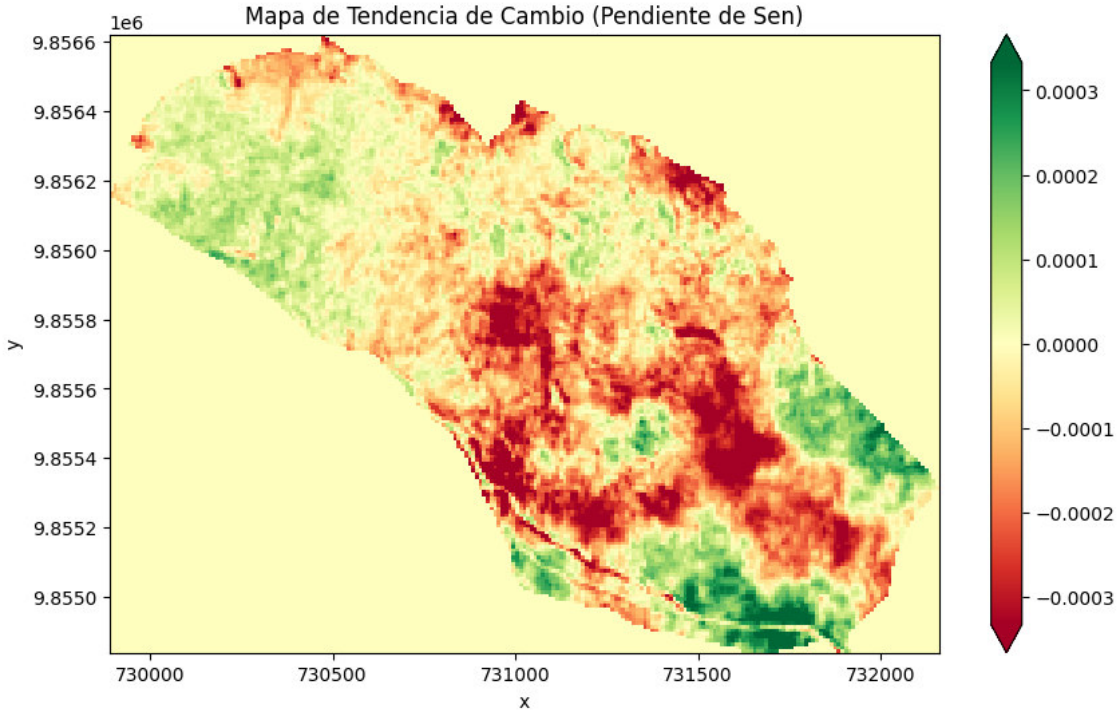
Gráfico 7: *Índice de Condición de la Vegetación (VCI %)*



Nota: Elaboración propia (2026).

Asimismo, el Índice de Condición de la Vegetación (VCI %) permitió normalizar el NDVI actual respecto a sus extremos históricos ($VCI = \frac{NDVI_{cur} - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{MIN}} \times 100$). Los valores dominantes superiores al 70% indican que, pese a las anomalías puntuales, la mayor parte del ecosistema se encuentra en un estado de salud favorable en relación con su potencial biológico máximo registrado en el periodo de estudio.

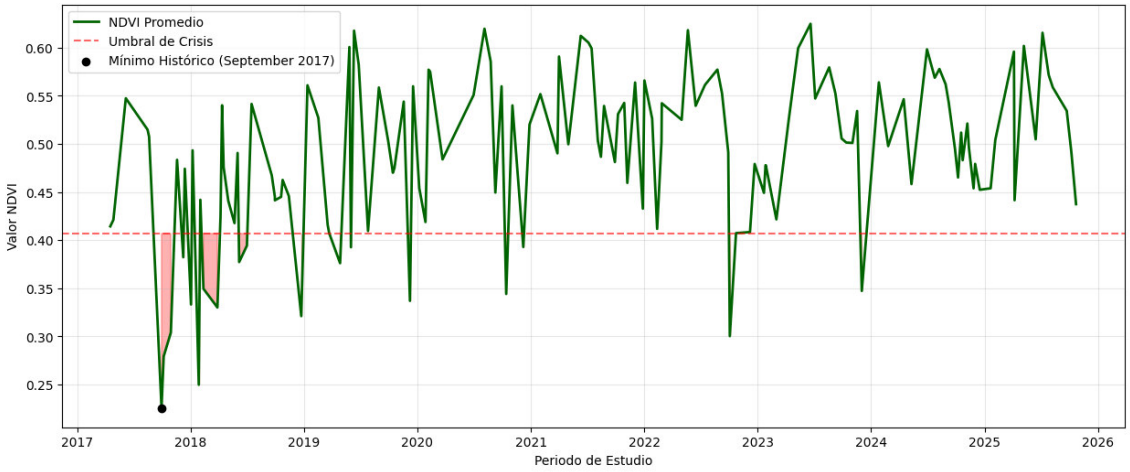
Gráfico 8: *Mapa de Tendencia de Cambio (Pendiente de Sen)*



Nota: Elaboración propia (2026).

Para este mapa se calculó la Pendiente de Sen para determinar la tasa de cambio anual en donde se muestra valores de pendiente negativos en la zona central, lo que estadísticamente sugiere un proceso de degradación sistemática más allá de la variabilidad estacional y las áreas en verde presentan una tendencia de "reverdecimiento" las que posiblemente se asocian a procesos de sucesión secundaria o cambios en la precipitación local.

Gráfico 9: *Evolución Estadística del Vigor Vegetal (2017 – 2026)*

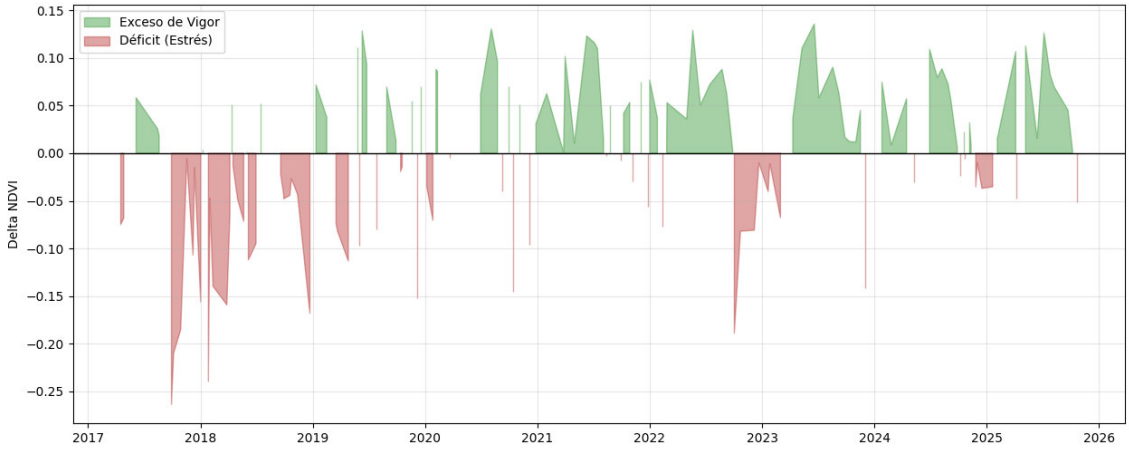


Nota: Elaboración propia (2026).

La marcada fluctuación en el vigor vegetal del ecosistema de páramo durante el periodo 2017-2026. Como se observa en la imagen, los valores promedio de NDVI oscilaron predominantemente entre un rango de 0.35 y 0.62. Sin embargo, el ecosistema experimentó perturbaciones severas al inicio del periodo de estudio. El mínimo histórico absoluto se registró en septiembre de 2017, alcanzando un valor crítico de NDVI = 0.225.

Durante finales de 2017 y el primer trimestre de 2018, el índice se posicionó de manera sostenida por debajo del umbral de crisis establecido (NDVI = 0.407). Estas fases de degradación temporal, representadas mediante las áreas sombreadas en rojo, denotan periodos de anomalías negativas extremas donde la vegetación nativa sufrió una pérdida sustancial de su capacidad fotosintética activa.

Gráfico 10:*Anomalías de NDVI: Desviación respecto al Promedio Histórico (2017 – 2026)*

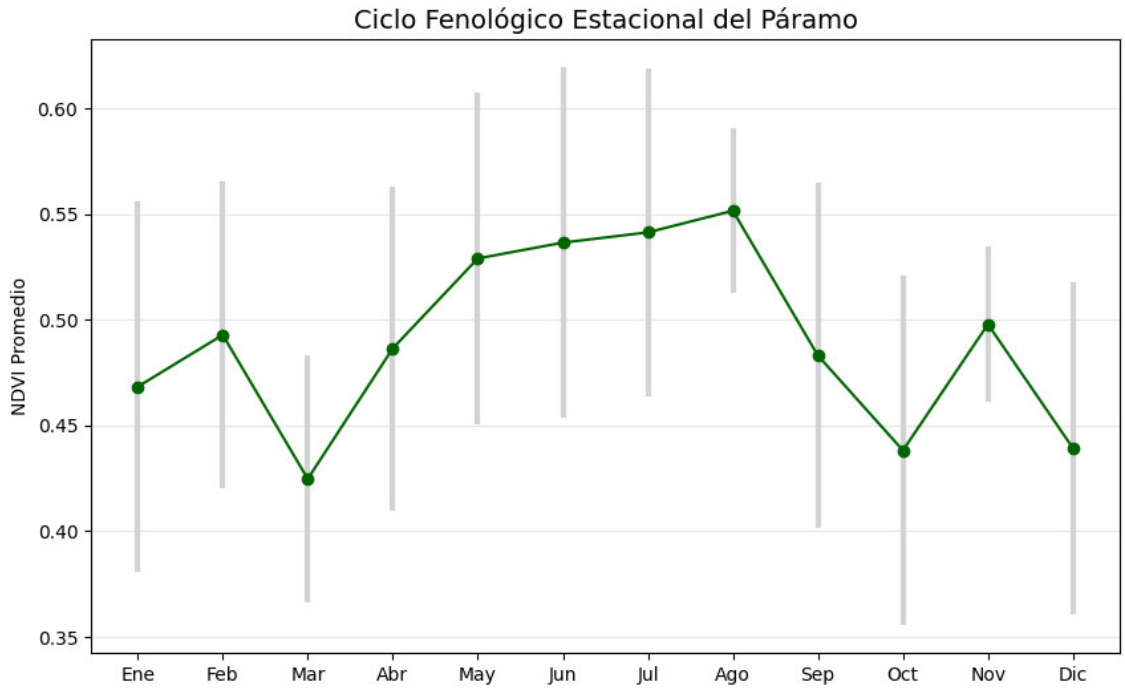


Nota: Elaboración propia (2026).

La cuantificación de las desviaciones respecto al promedio histórico (Delta NDVI) permitió identificar la alternancia entre periodos de estrés hídrico/térmico y fases de recuperación fenológica. Las anomalías negativas más agudas coincidieron con los descensos drásticos observados entre 2017 y 2018, registrando un déficit máximo de vigor cercano a -0.26 unidades de NDVI en 2017.

Posterior a este evento de crisis, se identificó un patrón de estabilización registrado a partir del año 2021, caracterizado por una prevalencia de anomalías positivas de color verde que alcanzaron picos de hasta +0.13 en los años 2023 y 2024. No obstante, el ecosistema continuó mostrando vulnerabilidad puntual, evidenciada por una caída abrupta y aislada de signo negativo que rozó el valor de -0.20 a finales del año 2022.

Gráfico 11: *Ciclo Fenológico Estacional del Páramo*

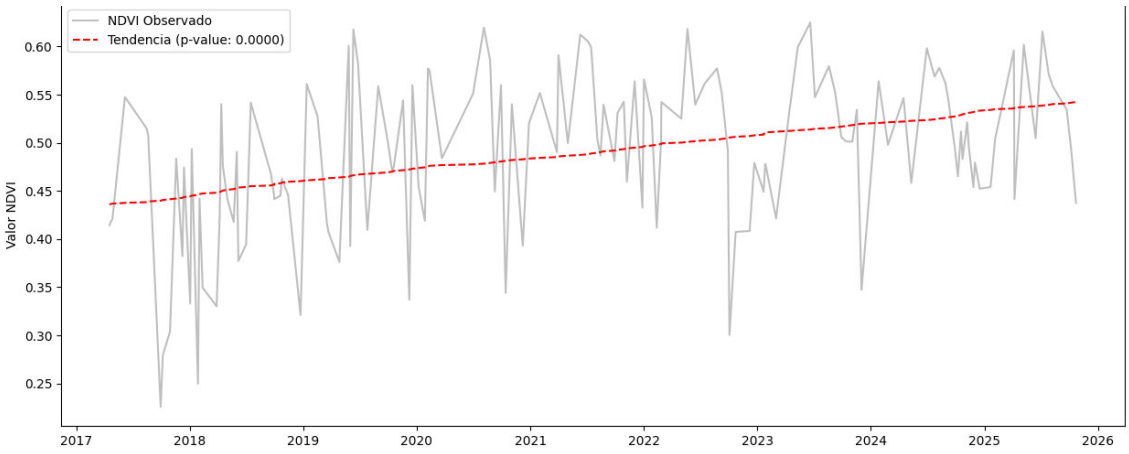


Nota: Elaboración propia (2026)

Al evaluar el comportamiento interanual promedio, se identificó una marcada estacionalidad en la actividad vegetativa del páramo. El vigor fotosintético exhibió una tendencia bimodal a lo largo del año. El periodo de mayor actividad biológica se concentró entre los meses de mayo y agosto, alcanzando el máximo anual en agosto con un valor medio de NDVI = 0.551.

Por el contrario, se identificaron dos periodos de marcado descenso fenológico: el primero y más severo ocurre durante el mes de marzo (NDVI = 0.425), seguido de una recuperación intermedia y un posterior descenso secundario en el mes de octubre (NDVI = 0.438). Las barras de error grisáceas reflejan una mayor variabilidad interanual en los meses de transición (enero, febrero, mayo y septiembre), mientras que los meses de junio y julio muestran una mayor homogeneidad en las observaciones históricas.

***Gráfico 12**: Análisis de Tendencia a Largo Plazo*

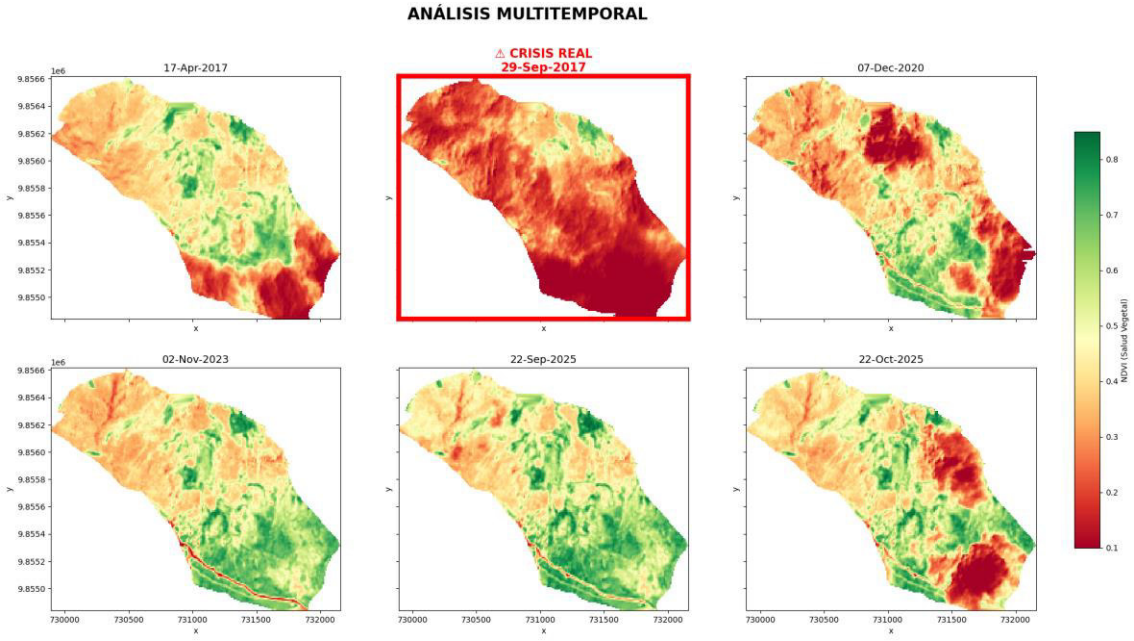


Nota: Elaboración propia (2026)

Para determinar la trayectoria general del ecosistema a lo largo del periodo evaluado, se aplicó un análisis de regresión lineal sobre la serie temporal completa. Los resultados revelaron una tendencia macroscópica de carácter ascendente y estadísticamente significativa en los valores de NDVI observado.

La pendiente de la línea de tendencia ajustada (línea discontinua roja) demostró un incremento sostenido, pasando de un valor teórico estimado de $NDVI \approx 0.43$ en 2017 a un valor proyectado de $NDVI \approx 0.54$ hacia finales de 2025. La significancia estadística de este proceso de reverdecimiento fue confirmada mediante el cálculo del valor de p ($p = .0000$), lo cual permite validar que el aumento del vigor vegetal a largo plazo no es producto de azar, sugiriendo un proceso continuo de recuperación ecológica o cambios en las condiciones climáticas locales que favorecen el desarrollo de la cobertura vegetal.

Gráfico 13: *Análisis multitemporal*



Nota: Análisis multitemporal de la degradación y recuperación de la cobertura vegetal con 150 imágenes NDVI, periodo 2017 – 2026 descargadas de EOSDA Crop Monitoring con resolución de 10 m. Fuente: Elaboración propia.

El mapeo de la distribución espacial del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a lo largo del periodo de estudio reveló variaciones geoespaciales críticas en la salud de la cobertura vegetal del área evaluada. Al contrastar las seis ventanas temporales seleccionadas, se evidenció que la degradación y recuperación del ecosistema no ocurren de manera homogénea en todo el territorio, sino que responden a patrones de vulnerabilidad topográfica o microclimática específicos.

En la fase inicial (17 de abril de 2017), el sector nororiental y central exhibía un vigor vegetal saludable con valores de NDVI superiores a 0.60 (tonalidades verdes). No obstante, esta condición cambió drásticamente durante el evento calificado como **"Crisis Real" del 29 de septiembre de 2017**. En esta fecha, coincidente con el mínimo histórico reportado en las series temporales, el territorio experimentó un colapso

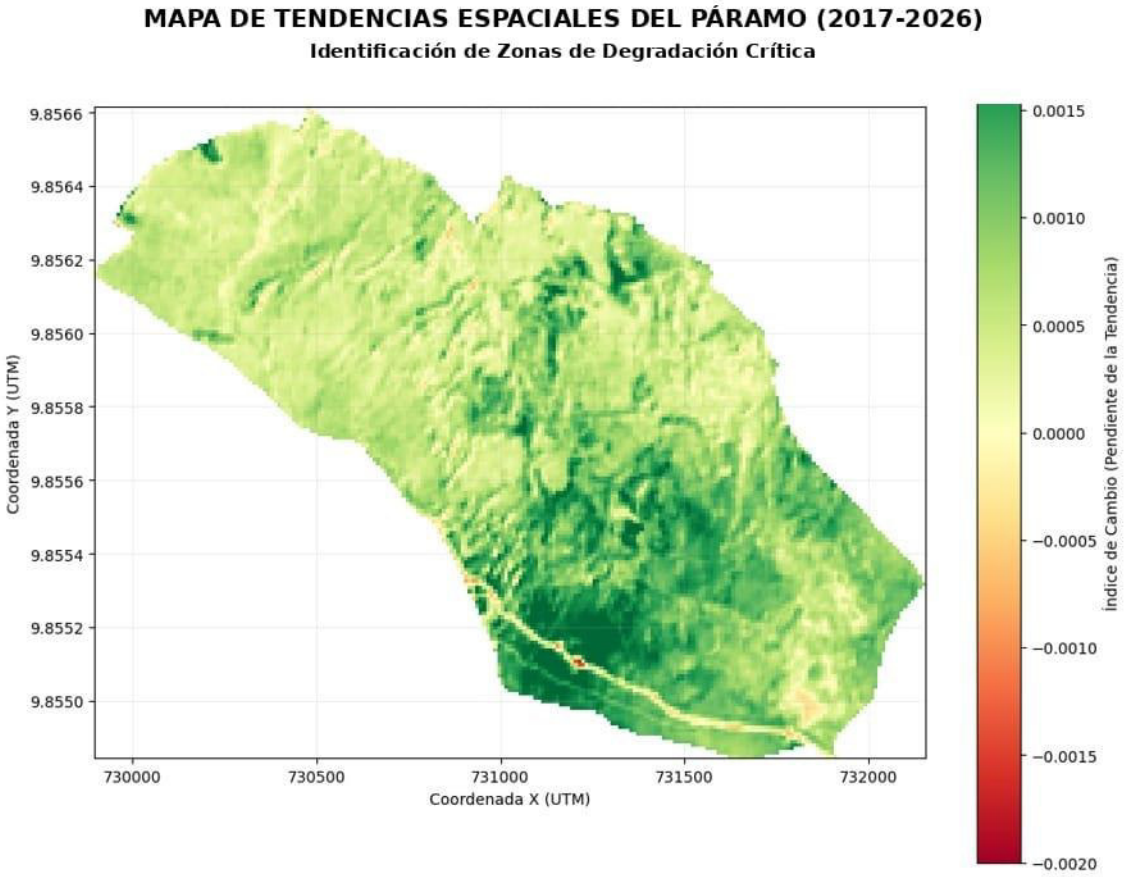
generalizado de su actividad fotosintética. Prácticamente la totalidad de la superficie cayó en valores de NDVI críticos, oscilantes entre 0.10 y 0.30 (tonalidades rojo oscuro y ocre), lo cual confirma espacialmente la severidad y la escala absoluta de la perturbación biológica sobre el ecosistema.

Para el 7 de diciembre de 2020, el mapa denota un proceso de recuperación heterogéneo: mientras la periferia y las zonas bajas recuperaron niveles intermedios de vigor, persistió un núcleo severamente estresado en la franja norte-central con valores inferiores a 0.20.

A partir del año 2023, la estabilización y tendencia al reverdecimiento (identificada estadísticamente se constata en la cartografía. El 2 de noviembre de 2023 y el 22 de septiembre de 2025 muestran una notable dominancia de parches con alta densidad de salud vegetal (NDVI > 0.70), concentrados principalmente en los flancos orientales y del sur.

A pesar de esta tendencia macroscópica de recuperación, el mapa del 22 de octubre de 2025 devela la resiliencia diferencial y la rápida respuesta del ecosistema ante perturbaciones de corto plazo: en apenas un mes, la sección suroriental sufrió un descenso abrupto en la actividad clorofílica, manifestando un núcleo de estrés térmico o hídrico focalizado que redujo el índice a niveles de 0.15. Este comportamiento espacial resalta la fragilidad intrínseca del páramo y demuestra que, aun en periodos de recuperación generalizada a largo plazo, el territorio mantiene áreas críticas de alta susceptibilidad a la degradación inmediata.

Gráfico 14: *Mapa de Tendencia Espaciales de Páramo (2017 – 2026)*



Nota: Mapa de tendencias con 150 imágenes NDVI, periodo 2017 – 2025 descargadas de EOSDA Crop Monitoring con resolución de 10 m. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

El análisis espacial de la pendiente de la tendencia del NDVI permitió discriminar las dinámicas de cambio estructural a largo plazo de las fluctuaciones estacionales o perturbaciones efímeras del ecosistema. Los valores del Índice de Cambio (representados por la pendiente de la recta de regresión para cada píxel) revelaron un escenario predominantemente positivo para el área de estudio, validando cartográficamente el proceso de recuperación macroscópica identificado estadísticamente en las series temporales primarias.

Como se aprecia en la distribución espacial en el grafico 6, la mayor parte del territorio exhibe valores de cambio superiores a cero (tonalidades verdes), concentrándose los incrementos más significativos y acelerados del vigor vegetal ($Pendiente \geq 0.0015$) en el sector de las laderas orientales y en la franja baja del flanco sur. Este comportamiento denota una regeneración sostenida de la cobertura vegetal activa, potencialmente ligada a procesos de sucesión ecológica o condiciones hidroclimáticas locales favorables durante el periodo 2017-2026. Una gran porción del sector noroccidental se mantiene en una condición de estabilidad relativa, caracterizada por pendientes neutrales o con incrementos atenuados cercanos a 0.0005.

Por el contrario, el mapa revela la existencia de focos críticos de vulnerabilidad ambiental donde el ecosistema experimenta un proceso de degradación persistente, caracterizadas por un índice de cambio negativo con tonalidades naranjas y rojo oscuro, se localizan de manera lineal y altamente focalizada a lo largo del margen sudoccidental y en pequeñas ramificaciones de la zona central, alcanzando tasas de pérdida de vigor de hasta -0.0020 unidades de NDVI por unidad de tiempo. La morfología lineal y definida de estas anomalías negativas a largo plazo sugiere la presencia de vectores de presión antrópica continuada, tales como la apertura o consolidación de vías de acceso y acumulación de desechos o desperdicios. La identificación de estos sectores específicos resulta prioritaria para el diseño de estrategias focalizadas de conservación y mitigación ambiental.

4.2. Resultado objetivo dos

Para cumplir con el objetivo de analizar las propiedades físicas - químicas del suelo y su relación con las zonas de degradación de la cobertura vegetal, se realizó la evaluación de 21 muestras recolectadas en diferentes puntos de la reserva de páramo. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar las condiciones edáficas presentes en

cada sitio mediante el análisis de parámetros físicos y químicos, tales como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, textura, nitrógeno total, carbono total, hidrogeno total y azufre total correlacionando con imágenes satelitales desde noviembre de 2025 que se tomó las muestras hasta junio del presente año. A continuación, se presentan los resultados de cada variable analizada, describiendo su comportamiento en los puntos de muestreo y estableciendo su posible influencia sobre los niveles de degradación observados en la cobertura vegetal del área de estudio.

Con los resultados del laboratorio se categorizo las 21 muestras por el componente de pH utilizando como marco de referencia los rangos establecidos por la (Osorio, 2012) para la clasificación de los suelos, esta tipificación facilito la identificación de micro zonas y patrones de acidez característicos de los ecosistemas de páramo andino dentro de la comunidad.

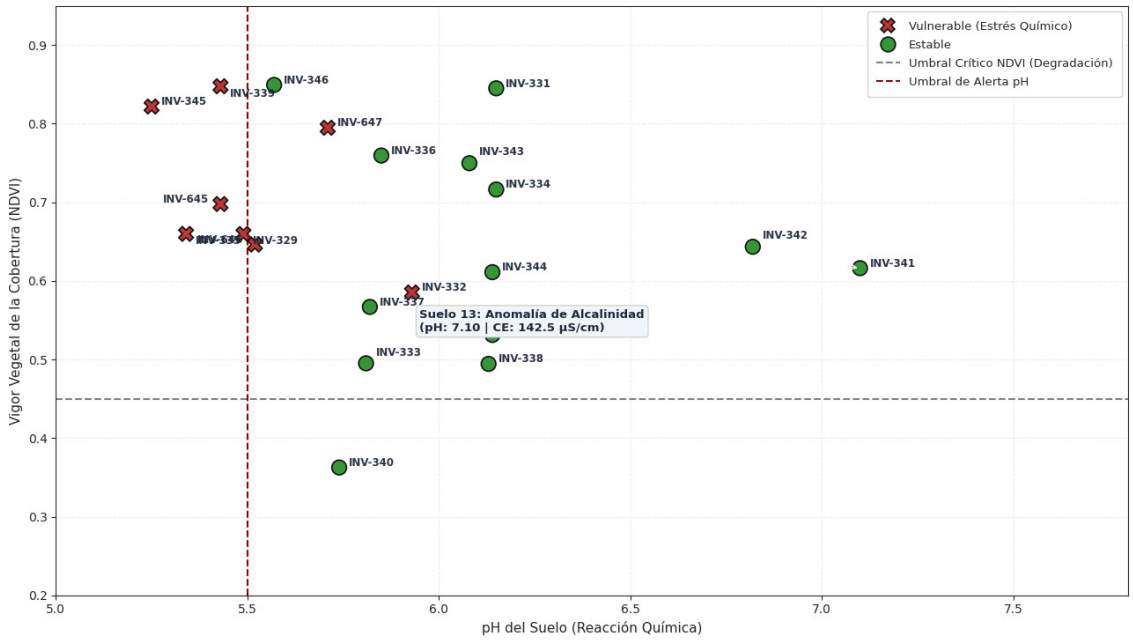
Tabla 5*:Potencial de hidrógeno (pH)*

pH	Categoría	Interpretación
< 5.0	Extremadamente ácido	Severa toxicidad por Al y quizá por Mn; Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables; se esperan altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.0 – 5.5	Fuertemente ácido	Toxicidad moderada por Al y quizá por Mn; deficiencia de P, S, Mo y bases; altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.5 – 6.0	Moderadamente ácido	No se espera la toxicidad por Al; mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases. Algunos

		cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento.
6.0 – 6.5	Ligeramente ácido	Adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
6.5 – 7.3	Neutro	Altos niveles de Ca, Mg. Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. La disponibilidad de P puede ser baja.
7.4 – 8.0	Alcalino	Baja disponibilidad de P y micronutrientes. Altos niveles de Ca, Mg. El Na puede ser un problema.
>8.0	Muy alcalino	Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. El nivel de Na puede ser tóxico.

Fuente: (Osorio, 2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, p. 1-4.

***Gráfico 15**: Correlación NDVI y pH*



Nota: Correlación del pH con el Índice de Vegteacion de Diferencia Normalizada**.** Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución espacial de las 21 muestras dentro del grafico de dispersión revela un comportamiento biofísico típico de los ecosistemas de alta montaña, donde el vigor de la cobertura vegetal (NDVI) está condicionado por la estabilidad química del suelo. Los puntos de color verde representan los sectores catalogados como “suelo estable u óptimo”. Estas muestras predominan un rango de pH que va desde 5.4 hasta aproximadamente 6.2, sosteniendo coberturas vegetales densas con valores de NDVI elevados que superan con comodidad el umbral medio de 0.55 y alcanza un máximo en el en la muestra INV-331 con un NDVI cercano a 0,85. Este argumento demuestra que la acidez moderada es el estado natural y saludable del ecosistema, ya que permite la coexistencia de horizontes estables que amortiguan el estrés hídrico y retienen los nutrientes necesarios para el desarrollo fotosintético del pajonal.

Por el contrario, las cruces rojas identifican suelos vulnerables bajo estrés químico y físico, cuya localización geográfica corresponde a la transgresión de los límites de tolerancia ecológica del ecosistema de paramo. Al descender del umbral critico de pH fijado en 5.5, la acidez extrema altera la dinámica de intercambio del suelo. En este sector de alta vulnerabilidad, la excesiva concentración de iones de hidrogeno libres restringen la disponibilidad de nutrientes esenciales e induce toxicidad por aluminio soluble, en donde la perdida de vigor de la vegetación provoca un descenso continuo del NDVI, aproximando las muestras a la línea horizontal gris de degradación critica (NDVI < 0.45).

Sin embargo, el gráfico expone una aparente contradicción visual; existen cruces rojas situadas atípicamente en la zona derecha, superando el umbral de pH de 5.5 e invadiendo el espacio de suelos estables. Este fenómeno se explica porque nuestro criterio de vulnerabilidad es bidimensional, un suelo entra en riesgo no solo por acidez extrema, sino también por saturación de materia orgánica mayor a 22%. Estas muestras representan sectores donde el exceso de materia orgánica compacta el suelo e impide la aireación de las raíces o que provoca un retraso en el crecimiento vegetal. El satélite detecta este problema de inmediato, estancando los valores de NDVI por debajo de la tendencia de los puntos verdes y demostrando que un exceso orgánico es tan perjudicial como la acidez.

El caso más disruptivo de este comportamiento anómalo se localiza en la muestra INV- 341, aislado en el extremo derecho con un pH neutro de 7.10. Geométricamente, el gráfico revela un claro desacople ecológico, si esta neutralidad fuera un proceso natural y benéfico, su vigor vegetal debería haberse disparado verticalmente, pero su NDVI quedo estancado en un vigor promedio de 0.62. Este quiebre en la tendencia demuestra una severa perturbación antrópica, como una quema

o encalado agrícola que altero artificialmente la química del suelo, dejando una cicatriz ecológica en la vegetación que frena su potencial fotosintético.

Para la conductividad eléctrica se utilizó como marco de referencia los rangos establecidos en la tabla de calificación de salinidad donde categoriza niveles desde suelos “Efectos despreciables de la salinidad” hasta “Suelos fuertemente salinos” para agrupar las muestras según su concentración de sales disueltas para, posteriormente, someterlas a un análisis de correlación estadística con series temporales del índice NDVI.

Tabla 6: *Calificación de los suelos según su Conductividad Eléctrica*

Categorías	CE promedio (dS/m)	Características
No salino	<2	Ningún cultivo es afectado
Ligeramente salino	2-4	Afectado los cultivos sensibles
Salino	4 -8	Afectados muchos cultivos
Fuertemente salino	8-16	Posible solo cultivos tolerantes
Extremadamente salino	>16	Muy pocos cultivos son posibles

Fuente: (Hoor, 1194) Salinity control. (H.P. Ritzema. Ed.) Drainage principles and application, 533 - 600.

Gráfico 16: *Relación conductividad eléctrica con Vigor de la cobertura vegetal*



Nota: Relación de la conductividad eléctrica cobertura vegetal Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución bidimensional de las muestras dentro del gráfico revela la respuesta biomasiva y fisiológica de la cobertura vegetal frente a la concentración de sólidos disueltos en este entorno de páramo. Los círculos de color verde azulado identifican los sectores catalogados como conductividad normal de páramo agrupándose en un rango que va desde 40 – 95 μS/cm con valores de NDVI estables que superan el umbral de 0.55 y alcanzo un valor óptimo de 0.85 en la muestra INV-346, demostrando que la baja mineralización del suelo mantiene un gradiente osmótico favorable, permitiendo que las raíces absorban agua libremente y sostener coberturas vegetales densas y sanas sin enfrentar resistencia salina.

Por el contrario, los rombos anaranjados marcan la transición hacia condiciones de estrés químico al superar el límite de alerta fijado en 100 μS/cm, lo que el incrementó de sales disueltas eleva el potencial osmótico de la solución del suelo,

induciendo en marchitamiento fisiológico latente que limita la absorción de humedad por parte de la planta. Esta transgresión de los limitantes de tolerancia ecológica provoca la perdida de vigor foliar en el eje vertical, donde la asincronía entre la conductividad y las necesidades de la biomasa nativa altera la estabilidad y resiliencia del ecosistema.

Sin embargo, el análisis expone una clara anomalía en la muestra INV – 647 la cual se sitúa atípicamente en la zona superior derecha superando el umbral crítico mineral registrando un NDVI robusto de casi 0.80. Este fenómeno se fundamenta en que nuestro criterio de vulnerabilidad es multidimensional; la conductividad eléctrica puede elevarse de manera transitoria por un pulso benéfico de nutrientes que estimula la actividad fotosintética a corto plazo antes de manifestar un declive en la biomasa.

Finalmente, la ruptura ecológica más severa se localiza en la muestra INV-341, registrando un pico máximo de conductividad con 142. 5 μS/cm y un pH asociado a 7.10. El incremento mineral no genero un aumento proporcional en el vigor de la planta al contrario estanco el promedio de NDVI de 0.62. este quiebre en la tendencia lineal demuestra una perturbación antrópica directa como la aplicación de agroquímicos, vertidos locales o acumulación de cenizas por quemas lo que altero artificialmente la química original del suelo.

Con los resultados de las 21 muestras de materia orgánica se aplicó la tabla de interpretación adjunta, seleccionando la columna correspondiente a textura arenosa y clasificar las reservas desde los niveles bajos hasta los altos. Tras la agrupación se realizó la correlación con los valores NDVI a nivel de pixel, identificando el impacto de la abundancia o deficiencia de la materia orgánica en la degradación de la cobertura vegetal.

Tabla 7:*Contenido en materia orgánica (%) y relación C/N en los diferentes tipos de suelos volcánicos en función de la altitud*

Zona muy húmeda: Andosol perhidratado

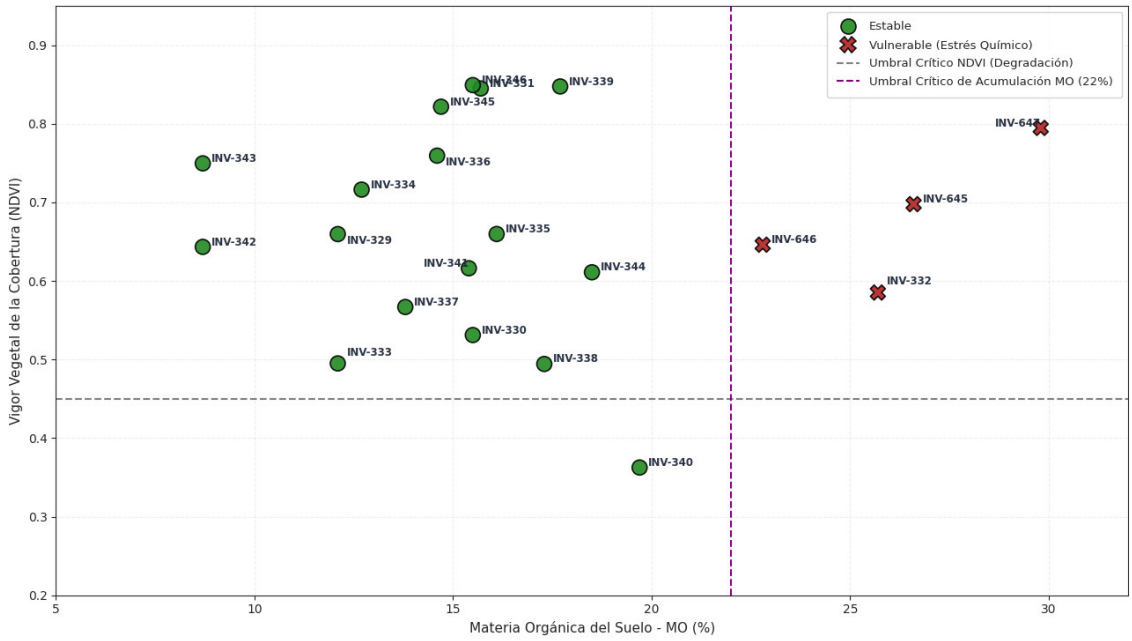
Altitud n° de perfil	**1000 m 488**		**3000 m 521**		**4000 m 522**	
Prof. (cm)	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N
0 – 20	28	18,4	39	15,9	55	15,8
50	11	12,3	30	26	36	22,2
100	10,7	13,5	23	28		

Zona húmeda: Andosol desaturado

Altitud n° de perfil	**400 m 76**		**2000 m 502**		**3000 m 501**		**4000 m 515**	
Prof. (cm)	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N
0 – 20	11,9	11,7	12	10,9	15,8	13,9	14,8	15,2
50	2,4	8,8	6	10,7	12,3	14	10,4	17,2
100	2,1	12,8	4,4	9,9	14,5	17	13,4	18,6

Fuente: (Winckell, 1997) *Paisajes naturales del Ecuador*. Instituto Panamericano de Geografía e Historia (Sección Nacional del Ecuador).

Gráfico 17: *Influencia de Materia Orgánica con el Vigor de la Cobertura Vegetal*



Nota: Influencia de la materia orgánica con el vigor de la cobertura vegetal. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución bidimensional de las muestras dentro del grafico de dispersión evidencia el papel de materia orgánica como el principal sustrato biocatalizador y regulador del vigor fotosintético en el ecosistema altoandino. En donde los puntos de color verde representan las estaciones clasificadas como suelo estable las cuales se concentran en un rango de MO que va desde 12.0% hasta aproximadamente el 20.0% en donde estas muestras sostienen coberturas vegetales densas con valores de NDVI elevados que superan con comodidad el umbral medio de 0.55 y alcanzan un máximo en la muestra INV-331 con un NDVI de 0.8450. Este agrupamiento demuestra que un suministro equilibrado de carbono orgánico garantiza una adecuada estructura granular en la matriz arenoso-franca, lo que optimiza la capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad capilar indispensables para el desarrollo foliar del pajonal.

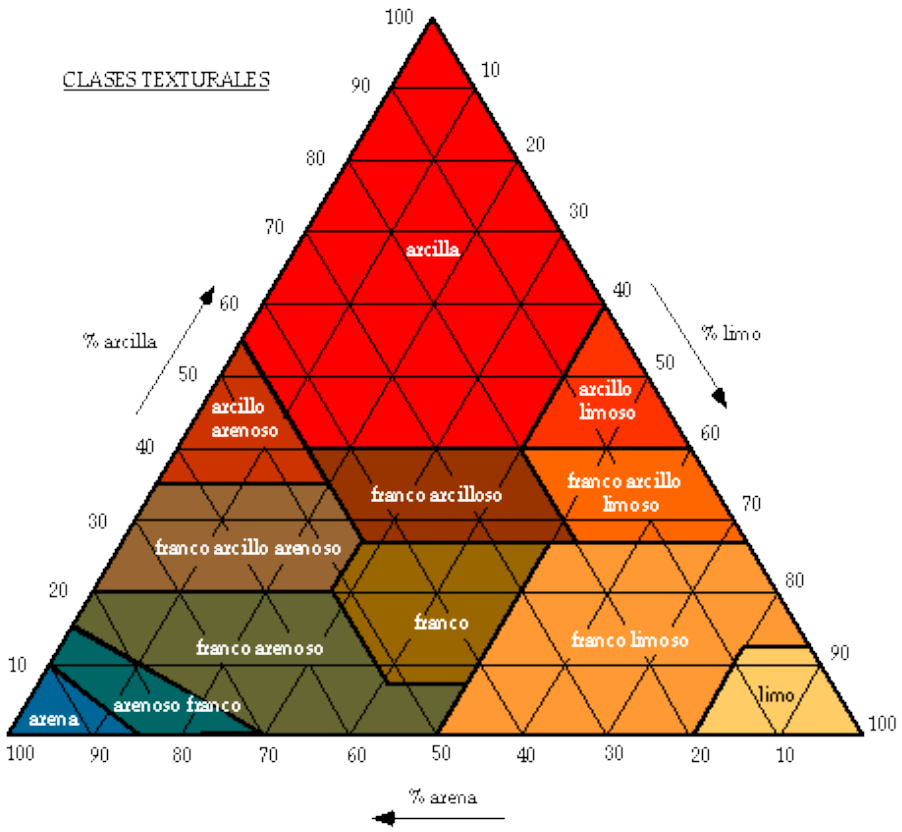
Por el contrario, el modelo estadístico identifica mediante cruces rojas aquellas muestras de suelo que entran en una categoría de vulnerables lo que responden a la transgresión de los umbrales biofísicos de resiliencia. En el extremo izquierdo del gráfico, por debajo del límite crítico del 12.05 de MO se observa la muestra INV- 342 y INV – 343 la escasez de carbono lo que reduce drásticamente la cohesión estructural del suelo. Al perderse los coloides orgánicos, la alta macroporosidad de las arenas acelera la desecación y limita el almacenamiento de nutrientes por ende la perdida de vigor de la vegetación provoca en continuo descenso del NDVI que aproxima a las muestras a la línea horizontal gris de degradación crítica (NDVI < 0.45).

Además se evidencia cruces rojas situadas en la parte derecha del gráfico, las cuales superan holgadamente el umbral de estabilidad e invaden rangos altos de materia orgánica > 22.0%, estos representan sectores afectados por un proceso de saturación orgánica severa o acumulación por estancamiento biológico por ende la excesiva acumulación de biomasa senescente sin descomponer compacta el espacio poroso y restringe la disponibilidad de oxígeno, induciendo un escenario de asfixia radicular crónica. Finalmente, el comportamiento más disruptivo dentro de este gradiente de carbono se localiza en la muestra INV- 341, el cual se proyecta de manera aislada con un contenido de MO de 15.4% y un pH neutro atípico de 7.10, rompiendo la tendencia lineal del modelo. Este quiebre en la trayectoria matemática confirma una severa perturbación antrópica local, donde la alteración artificial de las propiedades del suelo inhabilita la capacidad de la vegetación nativa para el aprovechamiento de nutrientes del complejo orgánico.

Para la textura de las 21 muestras se evaluó la propiedad física mediante el triángulo de clasificación textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) determinando de forma generalizada una clase Arenoso-Franco basado

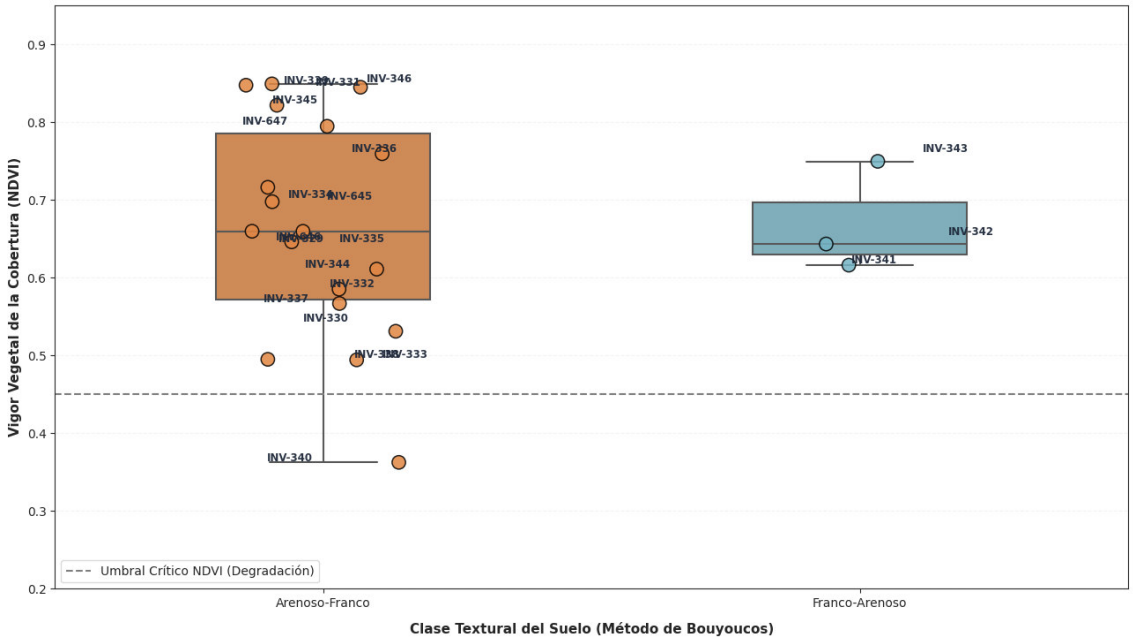
en un contenido de 60 % arena, 10% arcilla y 30% limo. Una vez definida esta homogeneidad física se procedió a correlacionar con los valores multitemporales del índice NDVI a nivel de píxel.

Gráfico 18: *Triángulo de clasificación textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)*



Nota: (Corral-Pazos-de-Provens et al., 2022), Triángulo de clasificación textural del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

Gráfico 19: *Influencia de la textura en el Vigor de Cobertura Vegetal*



Nota: Influencia de la textura con el vigor de la cobertura vegetal. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La clase textural arenoso – franco del bloque izquierdo exhibe una dispersión intercuartílica e intraespecífica marcadamente amplia, con valores NDVI que oscilan entre un máximo de 0.85 y un mínimo critico de 0.36. si bien su mediana se sitúa en un nivel óptimo de verdor ~ 0.66, la amplitud del bigote inferior revela una marcada heterogeneidad y vulnerabilidad ecosistémica. La presencia de la muestra INV-340 netamente por debajo del umbral crítico de NDVI o.45, tipifica un escenario de degradación severe. Físicamente los suelos arenosos – francos, al poseer una baja microporosidad y un menor contenido de coloides arcillosos, presentan una conductividad hidráulica saturada muy alta y una mínima capacidad de retención de agua disponible. Esto genera un régimen de humedad fluctuante que propicia estrés hídrico recurrente en el dosel, explicando el descenso del vigor vegetal en las estaciones más expuestas.

Por el contrario, la clase Franco - Arenoso en el bloque derecho muestra un comportamiento homeostático y altamente consistente ya que su rango de variación es significativamente acotado, concentrándose entre un NDVI de 0.61 y 0.71, con una mediana estable de ~ 0.64.

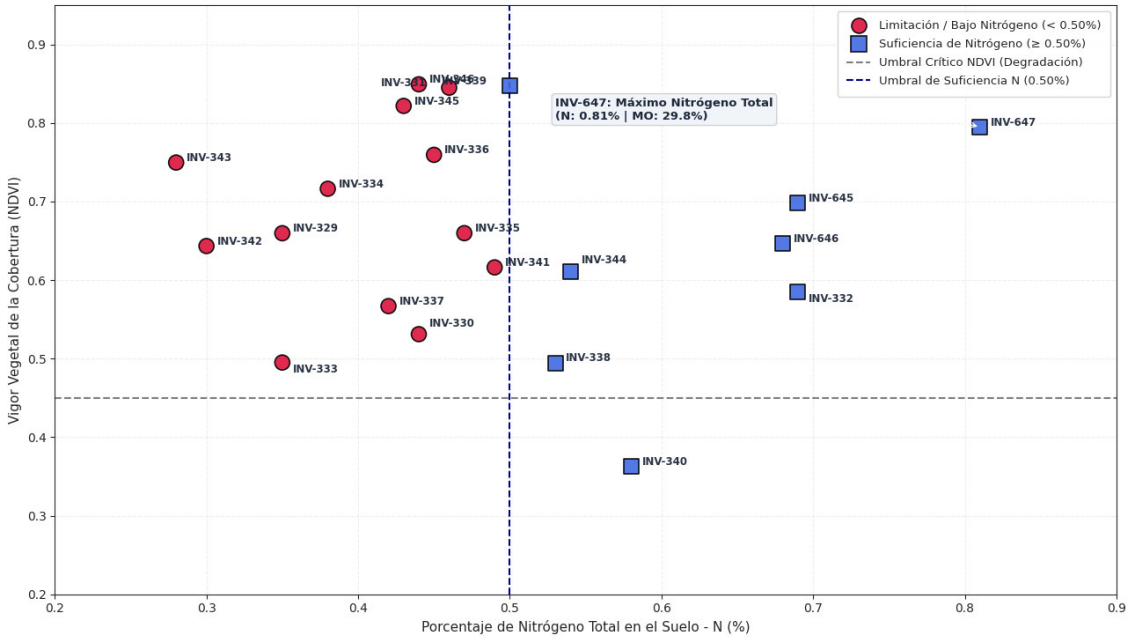
El incremento en la fracción limos y arcillas inherente a la textura franco-arenosa optimiza la estabilidad estructural del suelo, incrementando la capacidad de intercambio catiónico y amortiguando las pérdidas por lixiviación. Esta condición edáfica asegura un suministro hídrico y nutricional constante para las raíces, lo que se traduce en un vigor fotosintético y nutricional constante para las raíces, lo que se traduce en un vigor fotosintético homogéneo y resiliente ante perturbaciones climáticas.

Con los contenidos evaluados de Nitrógeno, Carbono, Hidrogeno y Azufre total de las 21 muestras, utilizando el Manual de Interpretación de Análisis de suelo (Ganadería, 1974) para clasificar sus niveles de contenido, se procedió a efectuar un análisis de correlación estadística frente a los valores multitemporales del índice NDVI a nivel de píxel.

Tabla 8:*Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno, carbono, hidrogenó y azufre*

Categoría	Valor (%) de N, C, H, S en suelo
Extremadamente pobre	<0,032
Pobre	0,032 – 0,063
Medianamente pobre	0,064 – 0,095
Medio	0,096 – 0,126
Medianamente rico	0,127 – 0,158
Rico	0,159 – 0,221
Extremadamente rico	>0,221

Gráfico 20: *Relación de Nitrógeno Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal*



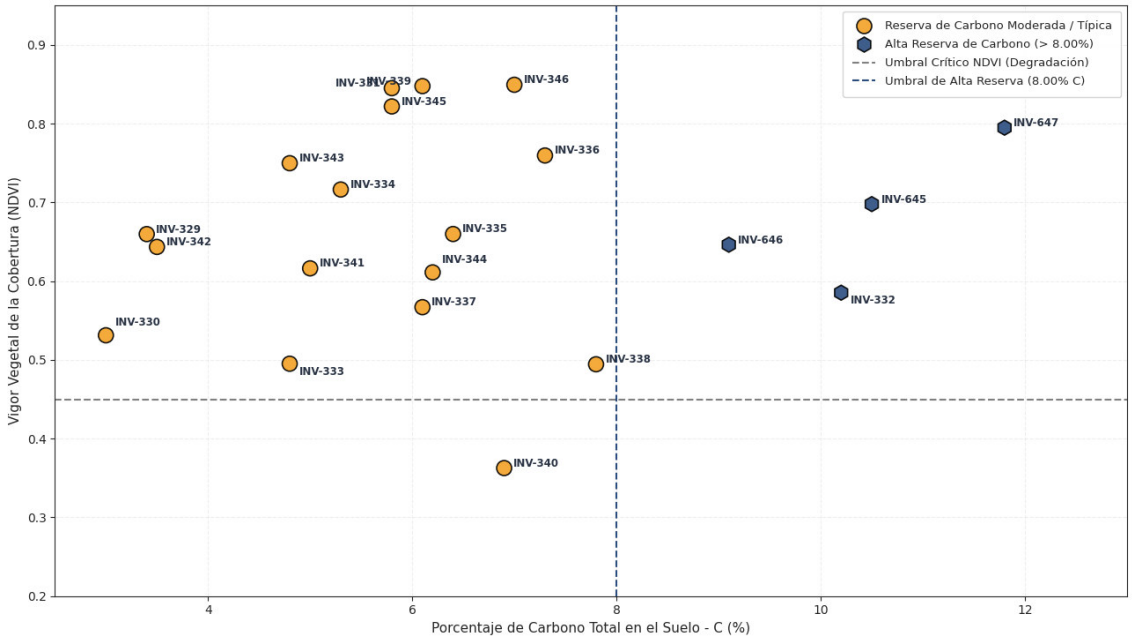
Nota: Relación de nitrógeno total con el vigor de la cobertura vegetal Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución en el gráfico demuestra que el vigor vegetal NDVI depende de un equilibrio en el nitrógeno total en donde los puntos azules representan la estabilidad del páramo, concentrándose en rangos intermedios 0.20 % a 0.50 % donde la vegetación alcanza mu máximo desarrollo foliar. Por el contrario, los puntos de color rojo en los extremos alertan sobre dos tipos de degradación, a la izquierda, por la pérdida absoluta de nutrientes debido a la erosión de las muestras INV – 342 y INV -343; y a la derecha por una saturación e inmovilización de nitrógeno provocada por el exceso de humedad y frío, lo que termina sofocando las raíces y frenando el crecimiento de la planta.

Finalmente, la muestra INV – 341 expone una anomalía critica al ubicarse completamente aislado en el extremo derecho, su pH neutro y su nivel de nitrógeno no coinciden con un aumento en el vigor vegetal, el cual permanece estancado en un NDVI

de 0.62, demostrando de esta manera que modificar artificialmente el suelo altera la firma ecológica original son lograr una recuperación real de la cobertura nativa.

***Gráfico 21**: Relación del Carbono Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal*



Nota: Relación del carbono total con el vigor de la cobertura vegetal Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución bidimensional de las estaciones dentro del espacio de fases demuestra el control biofísico que ejerce el almacenamiento de carbono total sobre le vigor de la biomasa en el ecosistema altoandino. Al evaluar la dispersión, los círculos de color naranja delimitan el sector de reserva de carbono moderada o típica distribuyéndose en una franja edáfica que va desde el 2.5 % hasta el límite crítico del 8 %. Este agrupamiento de muestras sostiene un desarrollo foliar óptimo con valores de NDVI estables > 0.55 hasta ~ 0.85. Para lo cual este comportamiento confirma que, bajo dinámicas de humidificación, un porcentaje equilibrado de carbono provee los coloides necesarios para estructurar físicamente el suelo arenoso – franco, optimizando

la retención hídrica por capilaridad y garantizando un suministro constante de nutrientes esenciales para el pajonal.

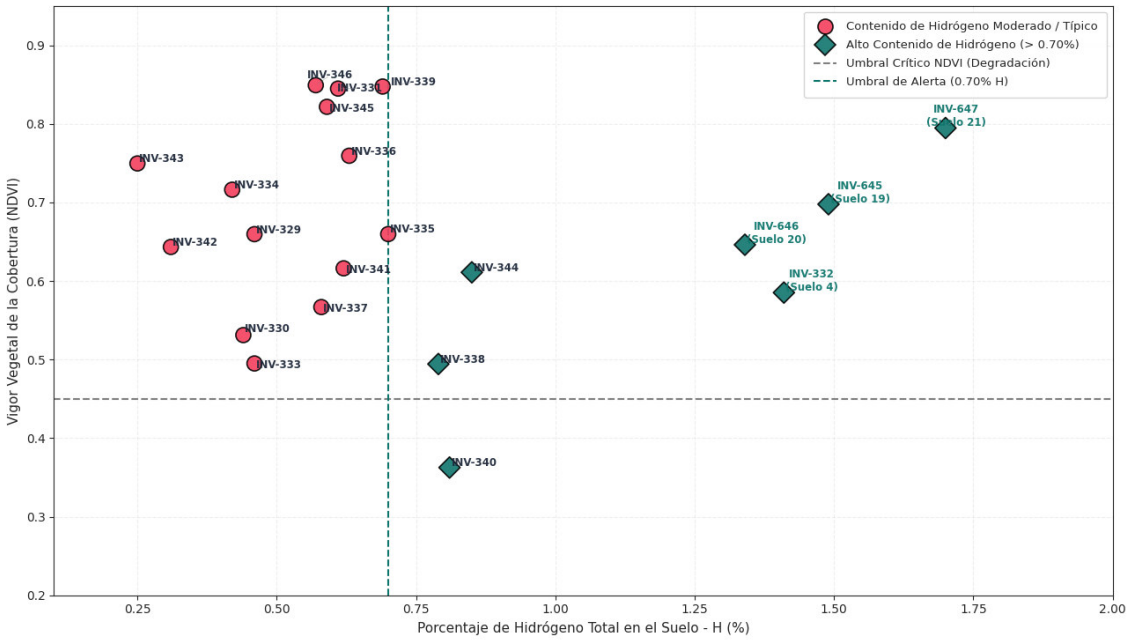
Por el contrario, las muestras que cruzan los límites de tolerancia ecológica del sistema revelan dinámicas de degradación diferenciadas en los extremos del gráfico. En el sector izquierdo de la zona de reserva moderada, donde el carbono desciende a niveles mínimos de entre 2.5% y 4 %, el suelo experimenta un desabastecimiento de materia orgánica. La falta de este sustrato coloidal reduce drásticamente la capacidad de agua provocando un marchitamiento que deprime el vigor vegetal. La máxima expresión de esta vulnerabilidad física se consolida en la muestra INV – 340, la cual colapsa por debajo de la línea horizontal gris del umbral crítico del NDVI 0.45, marcando una zona de degradación vegetal severa provocada por la pérdida de horizontes orgánicos protectores superficiales.

Sin embargo, al examinar la franja derecha del gráfico, el modelo expone un comportamiento asíncrono representado por los polígonos hexagonales de color azul oscuro, los cuales se clasifican con una alta reserva de carbono > 8 %. En este cuadrante, muestras como la INV -332 o INV – 646 se sitúan en una zona de estancamiento vegetal relativa a su nivel de nutrientes, a pesar de contar con sumideros de carbono excepcionalmente altos que superan el 10%, sus respuestas de NDVI no escalan proporcionalmente hacia la excelencia fotosintética, sino que se estabiliza por debajo de la línea de los puntos óptimos naranjas.

Por lo tanto, este fenómeno responde a las bajas temperaturas y la anoxia del páramo, las cuales inmovilizan el carbono atrapándolo en forma de restos vegetales senescentes sin mineralizar, por lo cual la planta comienza a experimentar un déficit nutricional indirecto debido a baja tasa de descomposición microbiana. Finalmente, la ruptura más irregular se localiza en la muestra INV – 647, la cual registra un valor

anómalo cercano al 12 % de carbono total junto a un NDVI muy elevado de 0,80. Este punto evidencia una acumulación masiva de carbono acoplada a un pico fotosintético tan agresivo, siendo un indicador directo en una perturbación o subsidio trófico de origen antrópico como la acumulación de biomasa enriquecida con aportes externos de lixiviados. Aunque temporalmente estimula el vigor vegetal del dosel, altera la estequiometria natural del suelo de páramo y rompe la tendencia lineal evolutiva del ecosistema nativo.

Gráfico 22: *Relación de Hidrógeno Total con el Vigor de la Cobertura Vegetal*



Nota: Relación del hidrogeno total con el vigor de la cobertura vegetal. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del laboratorio de las 21 muestras y Vigor de la cobertura vegetal (2026).

La distribución bidimensional de las muestras dentro del gráfico de dispersión evidencia el control biogeoquímico que ejercen las reservas de hidrógeno total sobre la respuesta espectral y el vigor de la cobertura vegetal en el ecosistema altoandino. El

hidrogeno edáfico funciona en esta matriz como un indicador directo en la retención de humedad capilar, la acumulación de materia orgánica fresca y las condiciones de aireación en los horizontes superficiales del páramo.

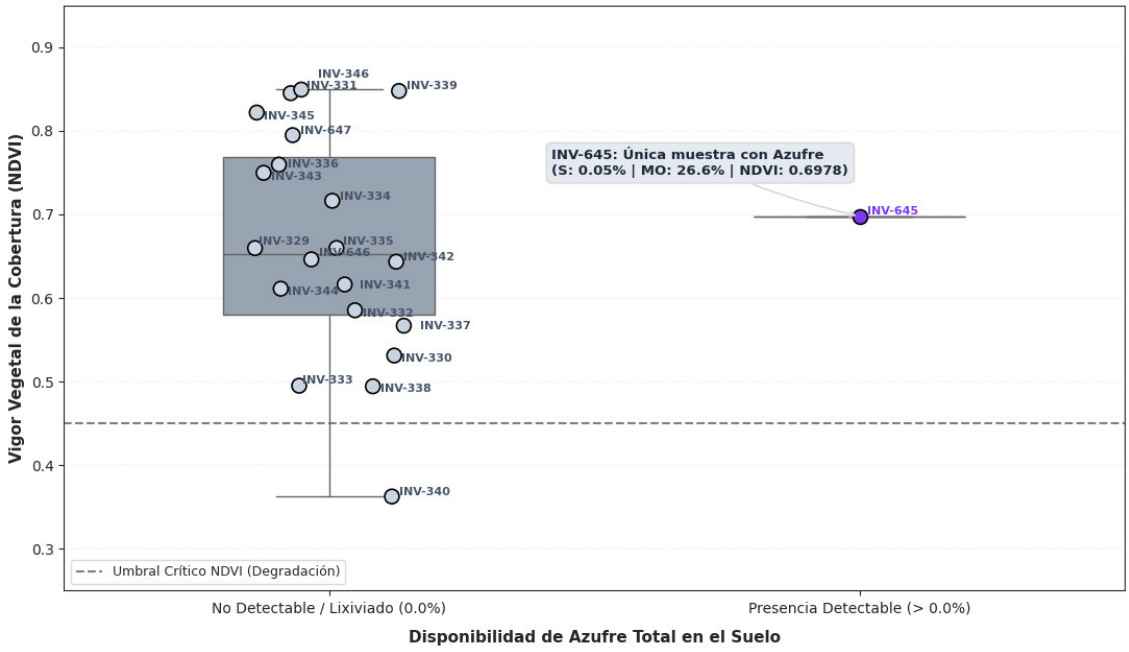
Los puntos de color rosado representan un contenido de hidrogeno moderado, concentrándose en una franja optima que va desde el 0.25% hasta un umbral de alerta fijado en 0,70%. En este agrupamiento, el ecosistema alcanza un máximo rendimiento fotosintético, destacando muestras INV -346, INV-331 y INV – 339 con valores muy elevados de NDVI ~ 0.85, confirmando que un equilibrio de hidrogeno refleja una humedad edáfica balanceada que maximiza la productividad del pajonal.

Por el contrario, al descender hacia el lado derecho de este grupo rosado, la escasez de humedad coloidal deprime el vigor vegetal, provocando que muestras criticas como la INV -33 caigan peligrosamente cerca del umbral crítico NDVI de degradación 0,45. Sin embargo, la anomalía más severa se encuentra al lado derecho >0.70 % donde están los diamantes de color verde oscuro, aquí se evidencia la muestra INV – 340 cuyo vigor vegetal colapsa drásticamente has un NDVI crítico de ~ 0.36, revelando un escenario de degradación por anoxia o saturación hídrica, donde el exceso de hidrógeno genera un ambiente que asfixia el sistema radicular.

Finalmente, las muestras INV – 646, INV – 645 y INV – 647 rompen patrón de asfixia y muestran una notable recuperación lineal que lleva a un NDVI óptimo de 0.80 por lo que este comportamiento diferencia las zonas inundadas muertas de los verdaderos horizontes orgánicos potentes del páramo por lo tanto estos suelos son capaces de retener altos porcentajes de hidrógeno y humedad estructural sin perder las

porosidad ni la aireación, lo que permite al pajonal nativo aprovechar la abundancia de recurso y sostener una cobertura vegetal densa, sana y biológicamente estable.

Gráfico 23: *Distribución del Vigor según la presencia de Azufre Total*



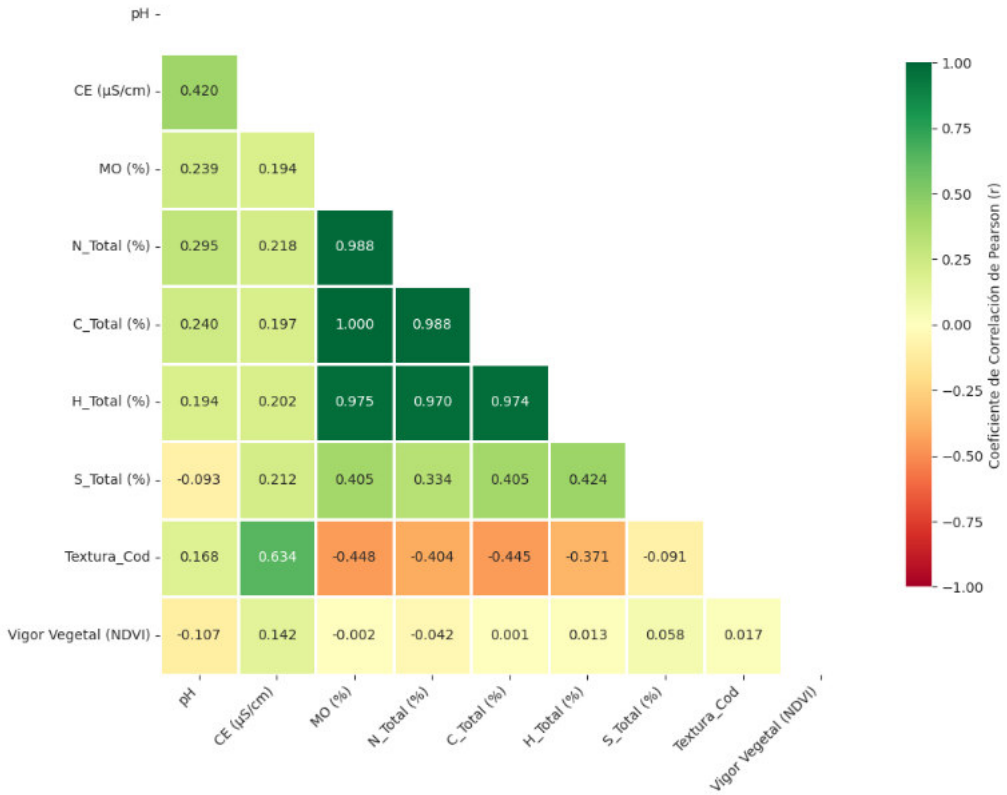
Nota: Elaboración propia (2026).

La segregación de las muestras demuestra que el ecosistema opera bajo un escenario de lixiviación generalizada de este macronutriente secundario, donde la única excepción detectable marca un comportamiento atípico en la retención del suelo. La categoría de no detectable o lixiviado 0% concentra la casi totalidad de las muestras, exhibiendo una dispersión intercuartílica muy amplia en el eje vertical que va desde valores máximos de NDVI de 0.85 hasta un mínimo crítico de 0,3. Esta variabilidad demuestra que, ante la ausencia física de azufre soluble en la solución del suelo, la estabilidad del pajonal queda supeditada a otros factores limitantes.

La caída de la muestra INV – 340 por debajo del umbral crítico de degradación NDVI < 0.45 expone la alta vulnerabilidad de suelos lavados donde la carencia de azufre restringe la síntesis de proteínas esenciales y clorofila. Por el contrario, la

muestra INV – 645 se posiciona de manera aislada como el único registro con presencia detectable, este punto actúa como una anomalía estabilizadora: no dispara el vigor vegetal hacia el máximo absoluto, sino que lo ancla en un nivel intermedio y robusto de 0.69. Esta retención anómala de azufre está directamente vinculada a su alto contenido de Materia Orgánica de 26.6, la cual actúa como un complejo coloidal que secuestra el sulfato e impide su pérdida por lavado hidrológico. La presencia de azufre en este punto garantiza un metabolismo vegetal balanceado, demostrando que la acumulación orgánica en el páramo es un mecanismo clave para contrarrestar la lixiviación catiónica y sostener la resiliencia de la cobertura vegetal.

Gráfico 24: *Matriz de Correlación Multivariada de las propiedades físico - químicas del suelo vs. Vigor Vegetal de Cobertura*



Nota: Elaboración propia (2026).

La evaluación multivariada demuestra que las propiedades físico - químicas del suelo no actúan como variables aisladas, sino como un sistema interdependiente que induce la degradación de la cobertura vegetal a través de dos mecanismos contrapuestos como es el estrés por desabastecimiento coloidal y la degradación por asfixia o saturación anóxica. El núcleo del sistema está gobernado por el complejo orgánico-mineral (materia orgánica, carbono total, nitrógeno e hidrógeno totales), cuya colinealidad matemática casi perfecta $r \geq 0.97$ confirma que la pérdida física de la materia orgánica por erosión desencadena un efecto domino que despoja al suelo de sus reservas de carbono y nitrógeno. Al perderse estos coloides protectores, disminuye drásticamente la capacidad de retención de agua, induciendo una desnutrición mineral crónica y estrés hídrico en el pajonal, lo que fuerza el colapso del vigor vegetal por debajo del umbral crítico NDVI $< 0{,}45$.

Por otro lado, los resultados evidencian que el exceso y la acumulación desmedida de estos mismos componentes alteran la estabilidad del ecosistema con la misma severidad que su escasez. Cuando el contenido de materia orgánica y el hidrógeno total superan los límites de tolerancia ecológica (MO > 22% y > 0.70% de H), las bajas temperaturas de la alta montaña ralentizan la actividad microbiana, provocando un estancamiento biológico y la saturación hídrica del suelo. El exceso de hidrógeno, actuando como proxy de inundación permanente, desplaza el oxígeno de los macroporos edáficos generando un escenario de anoxia radicular. Este proceso inmoviliza los nutrientes e interrumpe la respiración celular de las raíces, pudriéndolas y provocando una pérdida drástica de biomasa fotosintéticamente activa, cuyo ejemplo epidemiológico más severo se consolida en la muestra INV-340 con 0.36.

Finalmente, el filtro físico impuesto por la clase textural y su estrecha relación con la conductividad eléctrica (r = 0.634) define la vulnerabilidad geográfica a la

degradación, donde los suelos con dominio de texturas gruesas como es el suelo arenoso-franco carecen de una cohesión estructural y densidad de carga las cuales son necesarias para retener los elementos solubles, promoviendo la lixiviación o lavado agresivo de macronutrientes esenciales como el azufre total, el cual se encuentra virtualmente extinto en la zona de estudio. Esta dinámica explica por qué la correlación lineal de Pearson entre el NDVI y las variables edáficas tiende a cero: no debido a una falta de influencia, sino porque la relación es estrictamente parabólica y no lineal. La cobertura vegetal nativa está confinada a un estrecho rango de equilibrio homeostático; cualquier desviación por déficit (lavado y erosión) o por exceso (saturación y anoxia) deprime los índices espectrales, demostrando que ambos extremos bioquímicos son motores activos de la degradación ecológica del páramo.

4.3. Resultado objetivo tres

MEDIDAS	ACTIVIDADES	PRESUPUESTO ESTIMADO	Responsables
Manejo y conservación del páramo y educación ambiental	Implementar prácticas agroecológicas y de conservación del suelo en las zonas de transición entre áreas productivas y el páramo	$ 8.000	MAATE, GAD Cantonal de Guaranda, GAD Parroquial de Simiátug, dirigentes comunales y comuneros
	Desarrollar talleres de capacitación y manejo sobre manejo sostenible del páramo, conservación de la cobertura vegetal y uso adecuado del suelo	$ 4.000	MAATE, GAD Parroquial, comunidad.
	Establecer acuerdos comunitarios para regular actividades agrícolas y ganaderas en zonas de alta sensibilidad ambiental.	$ 2.500	Dirigentes comunales. Comuneros y GAD Parroquial.

	Implementar programas de restauración ecológica mediante la revegetación con especies nativas del páramo.	$ 12.000	MAATE, comunidad y unidades educativas.
	Promover investigaciones complementarias sobre conservación de suelos y recuperación de ecosistemas altoandinos.	$ 5.000	Universidades, MAATE y GAD.
Delimitación y priorización de áreas para restauración.	Delimitar las áreas degradadas mediante el análisis de mapas NDVI y la información de tipos de suelo obtenida en la investigación.	$ 4.500	MAATE y equipo técnico.
	Realizar la zonificación de áreas prioritarias de restauración según niveles de degradación de la cobertura vegetal.	$ 5.000	MAATE, GAD y técnicos SIG

CAPITULO V.

CONCLUSIONES

El análisis temporal mediante teledetección al 30 de abril de 2026 permitió identificar una marcada heterogeneidad en el vigor de la cobertura vegetal del ecosistema estudiado. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) evidenció que, si bien una parte significativa de las muestras conserva un vigor óptimo con valores superiores a 0.50 e incluso picos cercanos a 0.85, existe un punto crítico de control fitosanitario expuesto a procesos de degradación severa, registrando un umbral mínimo de NDVI de 0.36. Esta fluctuación demuestra que la teledetección es una herramienta geoespacial altamente eficaz para delimitar zonas de alerta temprana antes de que la pérdida de cobertura sea irreversible.

El análisis cruzado físico - químico demostró que la degradación del vigor vegetal (NDVI < 0.45) está íntimamente ligada a la disponibilidad y límites críticos de los nutrientes del suelo. Específicamente, se determinó que concentraciones de Nitrógeno Total inferiores al umbral de suficiencia del 0.50% actúan como un factor limitante que restringe el desarrollo foliar. Asimismo, el carbono y el hidrógeno total presentaron un comportamiento de acumulación extrema en zonas específicas (como el Suelo 21 con 0.81% de N, 29.8% de MO y 1.70% de H), lo que denota que los suelos con alta retención de materia orgánica sostienen las coberturas más vigorosas. Por último, el Azufre Total se identificó como un elemento en estado crítico de lixiviación o no detectable en el 95.2% del área (estando presente únicamente en el Suelo 19 con un 0.05%), confirmando que la escasez generalizada de este nutriente debilita el sistema radicular y acelera la vulnerabilidad de la cobertura.

La estrecha correspondencia entre los déficits químicos del suelo y los bajos índices de vigor vegetal hace indispensable el diseño de estrategias de manejo fundamentadas en la restauración ecológica y la conservación de la materia orgánica para mantener e incrementar las reservas de carbono y nitrógeno en los horizontes superficiales es la vía biológica más viable para frenar la degradación de la cobertura vegetal asegurando de esta forma que las zonas que actualmente se encuentran al borde del umbral crítico (NDVI 0.45) no colapsen hacia un estado de suelo desnudo o erosión irreversible.

RECOMENDACIONES

Implementar un programa de monitoreo satelital continuo y sistemático a escala multi-temporal (estacional y anual), integrando imágenes de mayor resolución espacial (como Sentinel o Planet Scope). Esto permitirá mapear la tasa de resiliencia o degradación de la cobertura vegetal frente a variables climáticas y presiones antrópicas, consolidando una base de datos geoespacial para la toma de decisiones oportunas.

Priorizar la intervención analítica y correctiva en las zonas identificadas bajo los umbrales críticos (N < 0.50% y Azufre no detectable). Se sugiere realizar mapeos de correlación espacial de Pearson a microescala para evaluar si la lixiviación del azufre está asociada a problemas de acidez o escorrentía superficial, permitiendo un diagnóstico preciso del complejo de cambio del suelo antes de ejecutar planes de fertilización.

Diseñar e implementar un plan piloto de restauración enfocado en dos ejes: primero, la incorporación controlada de enmiendas orgánicas ricas en nitrógeno y sulfatos estables para corregir las deficiencias nutricionales del sustrato de forma localizada; y segundo, la reforestación o enriquecimiento de la cobertura utilizando

especies nativas acumuladoras de nitrógeno y con alta tolerancia a suelos con bajo azufre. Complementariamente, se deben establecer barreras vivas o zonas de exclusión antropogénica en los sectores donde el NDVI ya rompió el umbral crítico de degradación.

BIBLIOGRAFÍA

Abbondanza, S. C. (2019). *Cambios en la cobertura vegetal y erosión del suelo en Sierras Chicas – Córdoba en el periodo 2005-2017 : Aproximaciones desde el modelo RUSLE con base en la teledetección*. 1–90.

Abdourhamane Touré, A., Tidjani, A. D., Rajot, J. L., Marticorena, B., Bergametti, G., Bouet, C., Ambouta, K. J. M., & Garba, Z. (2019). Dynamics of wind erosion and impact of vegetation cover and land use in the Sahel: A case study on sandy dunes in southeastern Niger. *Catena*, *177*, 272–285. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.011

Anzoategui, L. V., Gil-Leguizamón, P. A., & Sanabria-Marin, R. (2023). Agricultural frontier and multi-temporality of vegetation cover in moorland of the Cortadera Regional Natural Park (Boyacá, Colombia). *Bosque*, *44*(1), 159–170. https://doi.org/10.4067/S0717-92002023000100159

Calispa, M., & Vasconez, F. J. (2023). *L os suelos de los*. *June*. https://doi.org/10.18272/usfqpress.71.c258

Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial - Emilio Chuvieco Z. - Studocu*. Studocu. https://www.studocu.com/es-mx/document/national-institute-of-statistics-and-geography/servicios-profesionales/fundamentos-de-teledeteccion-emilio-chuvieco-z/144744195?utm_source=chatgpt.com&sid=f11bbfb6-49fe-4056-aac6-168a80c9dde21789335269

Conú, L. J.-A. J. (2014). *(65) DETERMINACIÓN DE TEXTURA POR EL METODO*

DE BOUYOUCOS. Universidad Del Cauca. https://www.academia.edu/9677695/DETERMINACIÓN_DE_TEXTURA_POR_EL_METODO_DE_BOUYOUCOS

Corral-Pazos-de-Provens, E., Rapp-Arrarás, Í., & Domingo-Santos, J. M. (2022). Estimating textural fractions of the USDA using those of the International System: A quantile approach. *Geoderma*, *416*. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115783

Corwin, D. L., & Plant, R. E. (2005). Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *46*(1-3 SPEC. ISS.), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.004

DigitalOcean, L. (2024). *Litología, conceptos, definición, importancia*. https://e-construir.com/geotecnia/litologia.html#google_vignette

FAO. (2017). *6. TEXTURA DEL SUELO*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#54a

Félix, B. H. (2021). *Análisis del Río Ucayali 2015-2020 | PDF | Precipitación | Agua*. SCRIBD. https://es.scribd.com/document/519034879/Analisis-Multitemporal-Del-Rio-Ucayali?utm_source=chatgpt.com

Gabriela, S. B. & G. (2021). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS "DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LA BIOMASA. *Repositorio de La Escuela Superior*

Politécnica De Chimborazo, 10–11.

GADPB. (2024). ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN PROVINCIAL PARA DETERMINAR ZONAS CONSERVACIÓN Y Resumen Técnico. *CONDENSAN*.

Ganadería, M. de A. y. (1974). INIAP-Estación Experimental Santa Catalina. *Repositorio Digital INIAP*.

Gaucho, M. (2024). *Universidad técnica de cotopaxi*.

Instituto Geográfico Nacional. (n.d.). . *¿Qué es la Teledetección?* Retrieved December 12, 2025, from http://www.ign.es

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, U. y G. de S. (2016). Coceptos Básicos. *Suplemento Del Registro Oficial 790, 5-VII-2016*, *LOOTUGS*, 31.

Llambí, L. D., Soto-w, A., Borja, P., Soto-w, A., & Calle, T. (n.d.). *Páramos Andinos Ecología , hidrología y suelos de páram os*.

Martínez, I., Reyes, D., & Rosero, F. (2011). La Constituyente. *Alteridad*, *2*(2), 74. https://doi.org/10.17163/alt.v2n2.2007.04.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. *El Estado de Los Recursos de Tierras y Aguas Del Mundo Para La Alimentación y La Agricultura - Sistemas Al Límite*. https://doi.org/10.4060/CB7654ES

Osorio, N. W. (2012). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES.

Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal, *1*(4).

Pinos-morocho, D., Morales-matute, O., & Durán-lópez, M. E. (2021). *Suelos de páramo : Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador*. *55*(2), 157–179.

Pomboza, P., & Ximena Parco, A. (2022). Socio-environmental effects of livestock intensification in high altitude ecosystems (paramos) of southwestern Tungurahua. *Ecosistemas*, *31*(1), 1–8. https://doi.org/10.7818/ECOS.2296

Rincón, N. (2015). The paramos in Colombia , an ecosystem at risk. *N*, *19*, 127–136.

Sánchez, A. V. (2024). *DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*.

Sola, F. (n.d.). *La Textura en los Suelos Agrícolas - CSR Laboratorio*. Retrieved December 12, 2025, from https://csrlaboratorio.es/laboratorio/agricultura/suelos-agricolas/la-textura-en-los-suelos-agricolas/

Soto, S., Desamparados, M., & Vegetal, P. (n.d.). *pH del suelo Apellidos, nombre*.

Sposob, G. (2025). Suelo - Concepto, composición, características y tipos. *Https://Concepto.De/*. https://concepto.de/suelo/

Suárez, E., Arcos, E., Moreno, C., Encalada, A. C., Álvarez, M., Cisneros, D., & Recibido, H. (2013). Influencia de los tipos de vegetación y la cubierta de tierra en la capacidad de infiltración del agua en el suelo en un ecosistema de páramo de

gran altitud. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, *5*(1). https://doi.org/10.18272/ACI.V5I1.117

Vargas, O. (2014). *Disturbios en los páramos andinos*. *March*.

Velásquez, A., Terry, L., Israel, A., Paredes, Z., & Edward, W. (2024). *(cc by-nc-nd)*.

Vives, S. (2025). Ecosistema del ecuador. *SCRIBD*.

Winckell, A. (1997). *LOS PAISAJES NATURALES DEL ECUADOR Volumen 1-Las condiciones generales dei media natural*.

ANEXOS

Gráfico 25: *Recopilación de muestras en el páramo Cruz de Ventanas*



Nota: Toma de muestras a partir de 10 cm de profundidad con un peso de 500 g por los 21 punto y georreferenciado el lugar de cada muestra tomada

Gráfico 26: *Tamizaje por las 21 muestras para pruebas de laboratorio*



Nota: Tamizar las 21 muestras para eliminar residuos orgánicos como hojas o raíz de la vegetación.

Gráfico 27: *Método de Combustión*





Nota: Se peso 50 mg de muestra por cada, luego se formó una pastilla con el papel aluminio y se colocó al analizador elemental por 24 horas para obtener carbono, nitrógeno, hidrogeno y azufre total.

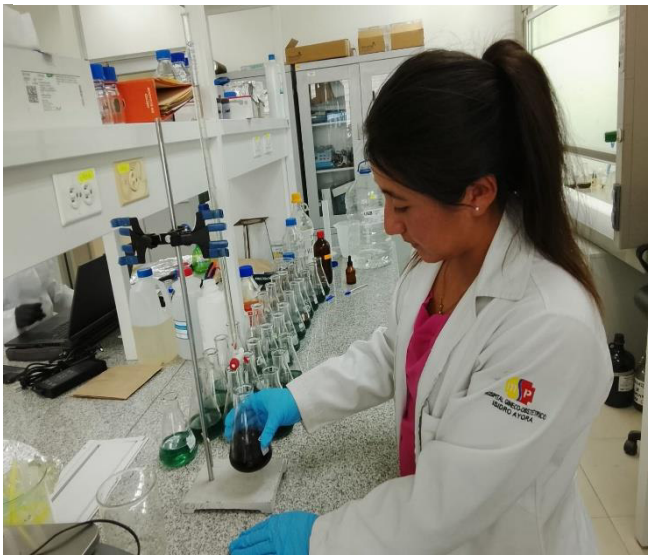
Gráfico 28: *Análisis de pH y Conductividad*





Nota: Se peso 20 mg de muestra y 50 ml de agua destilada, se agito por 5 min en el mecedor, reposo por 30 min y toma de lectura con el potenciómetro.

Gráfico 29: *Materia Orgánica*

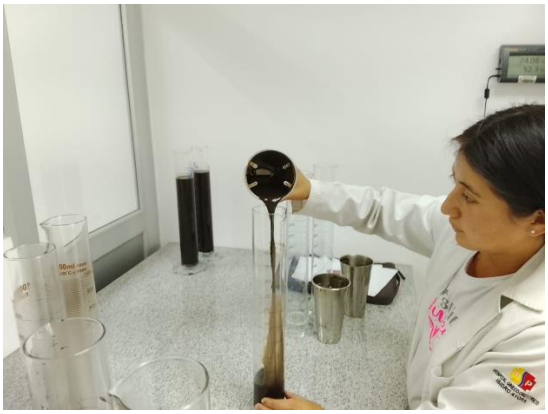




Nota: *Se peso 0.1 g de muestra, agregar 5 ml de dicromato y 10 ml de ácido sulfúrico para posterior agitar y dejar en reposo 30 min. Luego agregar 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico al 85% y 5 gotas de difenilamina.*

Gráfico 30: *Determinación de textura - método de bouyuocos modificado*





Nota: *Se peso 50 ml de muestra, añadir 40 ml de floculante y dejar en reposo 24 horas, terminando el reposo licuar durante 10 min, transvasar la muestra a una probeta de 1000 ml, agitar 20 seg y colocar el densímetro, dejar reposar 2 horas y tomar segunda lectura sin agitación después de 40 seg colocado el densímetro.*

***Gráfico 31**: Validación de mapas temáticos en campo*



Nota: Identificación de zonas con degradación vegetal y validación de las zonas con los mapas temáticos diseñados.

INFORME N° 592-2026

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Merwin Xavier Gómez Pozo y Jennifer Mishell Martinez Espin
Muestra	Suelo 1
Código asignado UEB	INV- 329, INV- 330, INV- 331, INV- 332, INV- 333, INV- 334, INV-335, INV-336, INV-337, INV-338, INV-339, INV-340, INV-341, INV-342, INV-343, INV-344, INV-345, INV-346, INV-645, INV-646, INV-647.
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Envase de plástico
Análisis requerido(s)	Determinación de materia orgánica, pH, conductividad, textura, carbono total, nitrógeno total, hidrógeno total y azufre
Fecha de recepción	20/01/2026
Fecha de análisis	20-28/01/2026
Fecha de informe	26/05/2026
Técnico (s) asignado	MIPV

RESULTADOS OBTENIDOS

Código	Muestra	Parámetros	Unidad	Método	Resultado
INV-329	Suelo 1	pH	——	pH- metro	5,49
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	76,4
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	12,1
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,4
		Carbono total	%		4,9
		Hidrógeno total	%		0,9
		Azufre total	%		0,8
INV-330	Suelo 2	pH	——	pH- metro	6,14
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	111
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	15,5

		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,5
		Carbono total	%		7,7
		Hidrógeno total	%		1,3
		Azufre total	%		0,1
INV-331	Suelo 3	pH	-----	pH- metro	6,15
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	97,6
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	15,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,5
		Carbono total	%		7,3
		Hidrógeno total	%		1,2
		Azufre total	%		0,1
INV-332	Suelo 4	pH	-----	pH- metro	5,93
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	260
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	25,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,9
		Carbono total	%		11,7
		Hidrógeno total	%		1,9
		Azufre total	%		0,1

Escaneado con CamScanner

INV-333	Suelo 5	pH	—	pH- metro	5,81
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	87,7
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	12,1
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,5
		Carbono total	%		7,8
		Hidrógeno total	%		0,8
		Azufre total	%		0,02
INV-334	Suelo 6	pH	—	pH- metro	6,15
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	71,8
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	12,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,31
		Carbono total	%		4,5
		Hidrógeno total	%		4,45
		Azufre total	%		0
INV-335	Suelo 7	pH	—	pH- metro	5,34
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	91,7
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	16,1
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco

Escaneado con CamScanner

		Nitrógeno total	%	Combustión	0,56
		Carbono total	%		9,04
		Hidrógeno total	%		9,95
		Azufre total	%		0,006
INV-336	Suelo 8	pH	——	pH- metro	5,85
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	57,9
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	14,6
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,44
		Carbono total	%		6,7
		Hidrógeno total	%		0,71
		Azufre total	%		0
INV-337	Suelo 9	pH	——	pH- metro	5,82
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	77
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	13,8
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,47
		Carbono total	%		7,35
		Hidrógeno total	%		0,80
		Azufre total	%		0,003
		pH	——	pH- metro	6,13

Escaneado con CamScanner

INV-338	Suelo 10	Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	63,3
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	17,3
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,59
		Carbono total	%		8,92
		Hidrógeno total	%		0,89
		Azufre total	%		0,001
INV-339	Suelo 11	pH	——	pH- metro	5,43
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	92,2
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	17,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,46
		Carbono total	%		7,17
		Hidrógeno total	%		0,73
		Azufre total	%		0
INV-340	Suelo 12	pH	——	pH- metro	5,74
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	72
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	19,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,47

Escaneado con CamScanner

		Carbono total	%		7,44
		Hidrógeno total	%		0,84
		Azufre total	%		0
INV-341	Suelo 13	pH	——	pH- metro	7,10
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	142,5
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	15,4
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,48
		Carbono total	%		6,86
		Hidrógeno total	%		0,78
		Azufre total	%		0
INV-342	Suelo 14	pH	——	pH- metro	6,82
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	116,9
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	8,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,29
		Carbono total	%		4,08
		Hidrógeno total	%		0,73
		Azufre total	%		0
		pH	——	pH- metro	6,08
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	54,2

Escaneado con CamScanner

INV-343	Suelo 15	Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	8,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,59
		Carbono total	%		4,36
		Hidrógeno total	%		0,58
		Azufre total	%		0
INV-344	Suelo 16	pH	-----	pH- metro	6,14
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	79,7
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	18,5
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,42
		Carbono total	%		6,60
		Hidrógeno total	%		0,81
		Azufre total	%		0
INV-345	Suelo 17	pH	-----	pH- metro	5,25
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	209
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	14,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,39
		Carbono total	%		6,47

Escaneado con CamScanner

INV-343	Suelo 15	Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	8,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,59
		Carbono total	%		4,36
		Hidrógeno total	%		0,58
		Azufre total	%		0
INV-344	Suelo 16	pH	-----	pH- metro	6,14
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	79,7
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	18,5
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,42
		Carbono total	%		6,60
		Hidrógeno total	%		0,81
		Azufre total	%		0
INV-345	Suelo 17	pH	-----	pH- metro	5,25
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	209
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	14,7
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,39
		Carbono total	%		6,47

Escaneado con CamScanner

		Hidrógeno total	%		0,57
		Azufre total	%		0
INV-346	Suelo 18	pH	------	pH- metro	5,57
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	62,6
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	15,5
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,35
		Carbono total	%		5,34
		Hidrógeno total	%		0,57
		Azufre total	%		0
INV-645	Suelo 19	pH	——	pH- metro	5,43
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	95,8
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	26,6
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,69
		Carbono total	%		10,52
		Hidrógeno total	%		1,49
		Azufre total	%		0,05
		pH	------	pH- metro	5,52
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	62,6
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	22,8

Escaneado con CamScanner

INV-646	Suelo 20	Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,68
		Carbono total	%		1,35
		Hidrógeno total	%		1,55
		Azufre total	%		0,06
INV-647	Suelo 21	pH	-----	pH- metro	5,71
		Conductividad	µs/cm	Conductivimétrico	140,8
		Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black	29,8
		Textura	%	Método de los bouyoucos	Arenoso- Franco
		Nitrógeno total	%	Combustión	0,85
		Carbono total	%		15,54
		Hidrógeno total	%		1,85
		Azufre total	%		0,07

Datos	Elaborado por:	Revisado por:
Firma		
Nombre y Apellido	Blg. Manuela Isabel Paredes	Ing. Favian Bayas Morejón, PhD
Cargo	TÉCNICO DOCENTE	DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN

Escaneado con CamScanner

Escaneado con CamScanner