



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO
CARRERA DE INGENIERIA EN RIESGOS DE DESASTRES**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES**

TEMA:

“VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ANTE ESCENARIOS DE
CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN HÍDRICA EN LA COMUNIDAD
CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN GUARANDA. PERIODO
MARZO – JULIO 2026”

AUTORES:

GUAMÁN RAMÍREZ THALÍA DANIELA

VITE PILLIGUA DANIELA ELIZABETH

TUTOR:

DR. JOSÉ ABELARDO PAUCAR CAMACHO

Guaranda – Ecuador - 2026

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme acompañado durante este largo camino, por darme fortaleza, paciencia y sabiduría para afrontar cada desafío y por permitirme llegar a la culminación de una de las etapas más importantes de mi vida.

A mis padres y hermanos, mi más profundo agradecimiento. Gracias por haber estado conmigo en cada momento, por sus sacrificios, por su apoyo incondicional y por nunca dejarme sola frente a las dificultades. Gracias por cada palabra de ánimo, por escucharme cuando lo necesitaba y por confiar en mí. Este logro no habría sido igual sin ustedes.

A toda mi familia, gracias por acompañarme durante estos años de formación universitaria, por comprender mis ausencias, mis preocupaciones y los momentos en los que tuve que dedicar gran parte de mi tiempo a mis estudios. Cada gesto de apoyo significó mucho para mí.

A mis amigos de universidad, por convertirse en un pilar fundamental durante estos años. Gracias por las desveladas compartidas, las jornadas de estudio, las risas en medio del estrés y el apoyo mutuo frente a cada examen y proyecto. Su amistad e incondicionalidad hicieron que este camino fuera mucho más especial e inolvidable. A mi tutor de tesis por su paciencia, orientación y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que estuvieron presentes durante este recorrido, a quienes me brindaron una palabra de aliento, un consejo, una ayuda o simplemente estuvieron a mi lado cuando más lo necesité. Cada una de esas acciones dejó una huella en este camino y forma parte de este logro que hoy, con mucha emoción y orgullo, puedo compartir.

Guamán Ramírez Thalía Daniela

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa tan importante de mi vida, expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de distintas maneras, contribuyeron a mi formación profesional y me acompañaron hasta alcanzar esta meta.

En primer lugar, agradezco a Dios, por permitirme llegar hasta este momento, por darme fortaleza durante los días difíciles, sabiduría para afrontar cada desafío y la oportunidad de cumplir uno de los sueños más importantes de mi vida.

A mis padres, Iván y Elizabeth, mi gratitud más profunda, porque este logro también les pertenece. Gracias por cada sacrificio realizado para que pudiera continuar estudiando, por trabajar pensando en mi futuro y por confiar en mis capacidades desde el inicio. Aun cuando gran parte de este camino implicó estar lejos de ustedes, nunca me sentí sola, porque siempre estuvieron presentes con sus palabras, consejos, preocupación y amor. Todo lo que hoy alcanzo como profesional es también resultado de los valores, la formación y las oportunidades que me brindaron. Espero que este logro sea para ustedes la satisfacción de saber que cada esfuerzo realizado conmigo tuvo sentido. Gracias por ser mi hogar, mi respaldo y una de las principales razones por las que nunca me rendí.

A mis abuelos, Antonio y Esperanza, por su cariño, sus consejos y por acompañarme siempre con la alegría de ver cada uno de mis avances. A mis hermanos, Iván y Helton, por estar dispuestos a ayudarme, buscar soluciones junto a mí y recordarme que siempre podía contar con ustedes.

A mis tíos Jorge y Maryuri, a mi prima Silvia y a mi tía Gaby, gracias por su generosidad y por tenderme la mano cuando necesité apoyo para continuar. A mis tíos **Jimmy y Wilson**,

por su cariño, confianza y por celebrar mis logros como propios. Cada uno, desde su lugar, contribuyó a que pudiera seguir adelante.

Mi especial agradecimiento a Rocío, tía de Xavier, por recibirme y apoyarme durante mi llegada a Guaranda. Su generosidad hizo más llevadera mi adaptación a una nueva ciudad y a una etapa llena de cambios personales y académicos. Su ayuda llegó en un momento importante de mi vida y siempre la recordaré con gratitud.

A Xavier, por ser mi compañero durante este proceso y brindarme un apoyo que fue mucho más allá de las palabras. Gracias por tu amor, paciencia, comprensión y consejos; por permanecer a mi lado en los momentos difíciles, ayudarme a mantenerme firme cuando las circunstancias se complicaron y celebrar conmigo cada pequeño avance. Gracias por acompañarme durante este camino y formar parte de una etapa tan significativa de mi vida.

A mis amigos de la universidad, tanto de mi carrera como de otras facultades, gracias por la amistad, los conocimientos compartidos, las palabras de ánimo, las risas y los recuerdos que hicieron más especial este recorrido. A mis profesores, por compartir sus conocimientos y experiencias, y por aportar con sus enseñanzas a la profesional en la que hoy me estoy convirtiendo.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación académica. Cada aprendizaje adquirido contribuyó a mi crecimiento profesional y personal, y constituye una parte fundamental de la profesional que hoy estoy por convertirme. Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, aunque quizá no aparezcan mencionadas de manera individual, estuvieron presentes en algún momento de este recorrido. Cada palabra de

aliento, cada consejo, cada ayuda y cada gesto de cariño contribuyeron de alguna manera a que pudiera superar los obstáculos y alcanzar esta meta.

Hoy cierro este capítulo con profunda gratitud, consciente de que detrás de este logro existe el apoyo de muchas personas que creyeron en mí y que fueron parte de este camino. A todos ustedes, gracias por acompañarme hasta aquí.

Vite Pilligua Daniela Elizabeth

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, por derramar sus bendiciones en mi vida y otorgarme la fortaleza, la fe y la sabiduría necesarias para superar cada obstáculo en este camino. Su luz fue mi faro en los momentos de mayor duda y dificultad.

A mis padres, Anita y Oswaldo, que son el mayor tesoro de mi vida y la columna vertebral de todo lo que soy. Dedico este gran logro a su amor incondicional, a sus sacrificios silenciosos y al esfuerzo diario con el que me enseñaron el valor de la perseverancia, el trabajo duro y la honestidad. Gracias por haber creído en mí aun cuando yo misma dudaba, por cada abrazo reconfortante, por sus oraciones y por ser mi mayor ejemplo a seguir. Este título es el reflejo de las semillas que ustedes sembraron en mí con tanto amor.

A mis hermanos, Marlon y Anahí, por ser mis compañeros incondicionales de vida, mi refugio y mi alegría. Gracias por sus palabras de aliento en los momentos de cansancio, por su complicidad, por su paciencia y por celebrar a mi lado cada pequeño avance. Su presencia ha hecho que este recorrido fuera mucho más firme y feliz. Este triunfo también les pertenece.

Y a mí misma, por la disciplina, la paciencia y la valentía de no rendirme frente a las adversidades, recordando siempre que cada noche de desvelo y cada sacrificio valieron la pena para alcanzar este sueño.

Guamán Ramírez Thalía Daniela

DEDICATORIA

Este trabajo representa mucho más que la culminación de una etapa universitaria. Representa años de esfuerzo, sacrificios, aprendizajes, momentos de alegría y también momentos en los que tuve que encontrar fuerzas para continuar. Por eso, dedico este logro a todas las personas que caminaron conmigo y que, de una u otra manera, hicieron posible que hoy pueda decir: lo logré.

A mis padres, Iván y Elizabeth, por ser mi pilar fundamental y la razón por la que nunca dejé de intentarlo, por creer en mí, por acompañarme en cada etapa y por enseñarme que, aun cuando las circunstancias sean difíciles, siempre vale la pena seguir adelante. Este logro lleva una parte de ustedes.

A mis abuelos, Antonio y Esperanza, por haber estado presentes durante mi camino universitario, por su cariño, sus consejos y por cada muestra de apoyo que me brindaron, su presencia fue una parte importante de esta etapa de mi vida.

A mis hermanos, Iván y Helton, por estar siempre dispuestos a tenderme la mano. Gracias por ayudarme a encontrar soluciones cuando aparecieron problemas, por acompañarme en mis momentos de crisis y por hacerme sentir que nunca estaba sola para enfrentar las dificultades.

A mis tíos Jorge y Maryuri, a mi prima Silvia y a mi tía Gaby, por estar presentes especialmente en aquellos momentos en los que el camino se volvió más difícil. Gracias por su generosidad, por su confianza y por ayudarme a seguir adelante cuando más necesitaba una mano amiga.

A mis tíos Jimmy y Wilson, por hacerme sentir siempre que mis esfuerzos eran motivo de orgullo para ustedes. Llevar conmigo esa confianza y saber que se alegraban por cada paso que daba fue también una motivación para continuar.

De manera muy especial, dedico este logro a Rocío, tía de mi pareja, por haberme abierto las puertas y tenderme la mano durante mi llegada a Guaranda. Gracias por hacer mucho más llevadera esa etapa de adaptación y por brindarme apoyo y calidez cuando comenzaba una nueva etapa lejos de casa, su ayuda hizo una diferencia que siempre llevaré conmigo.

A mis amigos de la universidad, tanto de mi carrera como de otras facultades, por cada momento compartido, por las palabras de ánimo, por las risas que hicieron más ligeros los días difíciles y por estar siempre dispuestos a ayudar cuando lo necesitaba. Muchos de ustedes hicieron que la universidad no fuera solamente un lugar de estudio, sino también un espacio donde encontré personas que se convirtieron en parte importante de mi vida.

Y, de manera muy especial, a Xavier, mi pareja y compañero durante este camino. Gracias por caminar conmigo en cada etapa, por estar presente en los momentos buenos y, sobre todo, en aquellos en los que las cosas se volvieron difíciles. Gracias por tu amor, tu paciencia, tu comprensión, tus consejos y por ese apoyo que nunca me hizo sentir sola. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en los que yo misma dudaba de mis fuerzas. Haber contado contigo durante este proceso hizo que muchas dificultades fueran más llevaderas.

Dedico también este logro a todos los profesores que dejaron una enseñanza en mi formación y a cada persona que, con una palabra, un consejo, una oportunidad o un gesto de apoyo, aportó para que pudiera llegar hasta aquí.

Hoy culmino una etapa, pero al mirar atrás comprendo que este logro nunca fue solamente mío. Detrás de estas páginas están las personas que creyeron en mí, que me sostuvieron cuando lo necesité y que caminaron conmigo hasta llegar a esta meta.

Con todo mi corazón, este logro es también de ustedes.

Vite Pilligua Daniela Elizabeth

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

CERTIFICADO DEL TUTOR.

Guaranda, 12 de octubre de 2026.

El suscrito Dr. José Abelardo Paucar Camacho, Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor,

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN HÍDRICA EN LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN GUARANDA. PERÍODO MARZO – JULIO 2026”; realizado por las señoritas: Guamán Ramírez Thalía Daniela y Vite Pilligua Daniela Elizabeth ha sido debidamente revisado y se han cumplido los requisitos académicos y legales establecidos por la Universidad.

Por lo tanto, se encuentra en condiciones de proceder a la publicación correspondiente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



DR. ABELARDO PAUCAR.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTORÍA NOTARIZADA



**BIBLIOTECA
GENERAL**

DERECHOS DE AUTOR

Yo/nosotros Thalía Daniela Guamán Ramírez y Daniela Elizabeth Vite Pilligua portador/res de la Cédula de Identidad No 0250146321 y 1315238707 en calidad de autor/res y titular / es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación:

"Valoración de los servicios ecosistémicos ante escenarios de cambio climático en el área de producción hídrica en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda. Período marzo – julio 2026", 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/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/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.

El (los) autor (es) declara (n) 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.

Thalía Daniela Guamán Ramírez

Daniela Elizabeth Vite Pilligua

Firma

Firma

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I: FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	6
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Formulación del Problema.....	8
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Justificación	9
1.5 Hipótesis	11
1.6 Variables	12
1.6.1 Variable Independiente:.....	12
1.6.2 Variable Dependiente:.....	12
1.6.3 Operacionalización de Variable.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	21
2.1 Marco Referencial y Georreferencial.....	21
2.2 Antecedentes.....	22

2.3 Marco Científico	24
2.3.1 Ecosistema	24
2.3.2 Ecosistemas de páramo andino	24
2.3.3 Servicios ecosistémicos del páramo en zonas de producción hídrica	25
2.3.4 Ecohidrología y Dinámica funcional del Páramo Andino	26
2.3.5 Criterios y Metodologías para Valoración de Servicios Ecosistémicos	27
2.3.6 Componentes de producción hídrica.....	30
2.3.7 Cambio Climático en los Andes y escenarios climáticos	31
2.3.8 Amenazas, presiones y vulnerabilidades ante el cambio climático	33
2.3.9 Análisis mediante percentiles y rangos de referencia.....	36
2.3.10 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)	38
2.3.11 Escenarios de cambio climático SSP245 y SSP585.....	39
2.4 Marco Legal.....	41
2.4.1 Contexto Internacional.....	41
2.4.2 Contexto Nacional.....	43
2.4.3 Acuerdo Ministerial	44
2.4.4 Contexto Local.....	46
2.5 Marco Conceptual	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	48
3.1 Tipo de Investigación.....	48

3.2 Enfoque de la Investigación.....	49
3.2.1 Enfoque mixto.....	49
3.3 Método de la investigación	50
3.3.1 Método Deductivo.....	50
3.4 Periodo de tiempo:	52
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recopilación de datos	53
3.5.1 Revisión documental y observación de campo	53
3.5.2 Encuesta.....	54
3.5.3 Recopilación de información hidrológico y de la cobertura vegetal	55
3.5.4 Recopilación de información climática proyectada	57
3.6 Universo, Población y Muestra.....	58
3.7 Técnica de análisis y procesamiento de la información.....	58
3.7.1 Sistematización y clasificación de los servicios ecosistémicos	58
3.7.2 Procesamiento de la valoración social, ambiental, económica y cultural	59
3.7.3 Procesamiento de la información hidro climática y de la cobertura vegetal	61
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1 Resultado del Objetivo 1: Identificar y describir los servicios ecosistémicos presentes en el páramo de Cruz de Ventanas, caracterizando su estado de conservación y las principales formas de uso.....	71
4.1.1 Valor Ambiental - Servicios Ecosistémicos.....	72

4.1.2 Valor Paisajístico – Fauna.....	95
4.1.3 Servicio ecosistémico - Hídrico.....	103
.....	104
4.2 Resultado del objetivo 2: Estimar el valor social, ambiental, económico y cultural que los habitantes de la comunidad asignan a los servicios del ecosistema de páramo, empleando metodologías de percepción comunitaria y disposición económica.....	105
4.2.1 Método de Valoración Contingente y cálculo de la Disposición A Pagar (DAP).....	123
4.3 Resultado del objetivo 3:.....	127
4.3.1 Comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas (2017-2025)	128
4.3.2 Comportamiento histórico del NDVI (2017 – 2025)	138
4.3.3 Determinación de rangos históricos de referencia	148
4.3.4 Integración de las condiciones climáticas y la respuesta de la vegetación	150
4.3.5 Comparación del NDVI del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas con otros ecosistemas de páramo mediante Google Earth Engine	155
4.3.6 Escenarios futuros de cambio climático 2021-2040	164
4.3.7 Comparación entre condiciones históricas y escenarios futuros.....	170
4.3.8 Posibles implicaciones para los servicios ecosistémicos	176
4.4 Comprobación de la Hipótesis	182

4.4.1 Comprobación Estadística de la Hipótesis mediante el Coeficiente de	
Spearman.....	182
Conclusiones.....	184
Recomendaciones.....	186
REFERENCIAS.....	189
ANEXOS	199

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fuentes de agua del Área de Producción Hídrica	103
Tabla 2: Importancia del páramo	105
Tabla 3: Beneficios del páramo	106
Tabla 4: Disposición comunitaria	107
Tabla 5: Percepción comunitaria del estado actual de conservación	108
Tabla 6: Cambios observados por parte de la comunidad	109
Tabla 7: Instrumentos y políticas.....	110
Tabla 8: Acciones que podría implementar la comunidad.....	111
Tabla 9: Frecuencia de cambio de eventos climáticos.....	112
Tabla 10: afectación que causan estos eventos climáticos.....	114
Tabla 11: Importancia en la actividad económica	116
Tabla 12: Pago por el servicio de agua	116
Tabla 13: Valor que cancelan mensualmente por este servicio	117
Tabla 14: Implementación de programas comunitarios para la restauración.....	118
Tabla 15: Afectación por deterioro del páramo	119
Tabla 16: Compensación dispuesto a recibir	120
Tabla 17: Compensación para que la comunidad participe en la conservación del páramo	120
Tabla 18: Significado cultural del páramo.....	122
Tabla 19: Prácticas ancestrales relacionadas al cuidado del páramo	122
Tabla 20: Protección legal y comunitaria del páramo.....	123

Tabla 21. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la precipitación del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025.....	130
Tabla 22. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la humedad del suelo del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025.....	131
Tabla 23. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia del PDSI del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025.....	132
Tabla 24. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la temperatura mínima del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025.....	135
Tabla 25. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la temperatura máxima del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025.....	137
Tabla 26. Rangos históricos de referencia para la interpretación de las condiciones ambientales del APH Cruz de Ventanas	137
Tabla 27. Rangos estadísticos de referencia del NDVI y del APH Cruz de Ventanas, 2017 - 2025	140
Tabla 28. Contraste bibliográfico de los rangos de NDVI según las principales coberturas vegetales del APH Cruz de Ventanas	144
Tabla 29. Rangos históricos de referencia de las variables ambientales y del NDVI del APH Cruz de Ventanas, 2017 - 2025.....	148
Tabla 30. Integración de las condiciones ambientales y la respuesta del NDVI en fechas representativas.....	151
Tabla 31. Características de los sectores utilizados para la comparación del NDVI ..	157
Tabla 32. Estadísticos descriptivos del NDVI en los sectores comparados.....	159
Tabla 33. Valores de NDVI en las fechas comunes entre los cuatro sectores	160

Tabla 34. Proyecciones climáticas mensuales para el período 2021-2040.....	166
Tabla 35. Comparación mensual de la precipitación histórica y proyectada para el período 2021 – 2040.....	171
Tabla 36. Comparación mensual de las temperaturas mínimas y máximas históricas y proyectadas.....	173
Tabla 37. Posibles condiciones de referencia de los servicios ecosistémicos	177
Tabla 38. Coeficientes de correlación de Spearman y significancia entre variables hidro climáticas y el NDVI.....	183

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Candenilla o valeriana del cerro	73
Ilustración 2: Paja.....	75
Ilustración 3: Paja de Viento.....	77
Ilustración 4: Paja de páramo.....	78
Ilustración 5: Almohadilla, Yareta.....	79
Ilustración 6: Cojín de páramo.....	80
Ilustración 7: Estrella rígida.....	82
Ilustración 8: Chuquiragua.....	83
Ilustración 9: Licopodio del páramo	85
Ilustración 10: Chicoria blanca	86
Ilustración 11: Clavelina de cerro.....	88
Ilustración 12: Arquitecta.....	89
Ilustración 13: Jata, trencillo del cerro.....	91
Ilustración 14: Tucshi Hembra.....	92
Ilustración 15: Halenia.....	93
Ilustración 16: Lobo de páramo	95
Ilustración 17: Ciervo de cola blanca de la Sierra	96
Ilustración 18: Conejo de Monte.....	97
Ilustración 19: Curiquingue	99
Ilustración 20: Mirlo Grande.....	100
Ilustración 21: Colibrí del Chimborazo	101

Ilustración 22. Mapa de ubicación de las fuentes de agua	104
Ilustración 23. Serie temporal del NDVI medio del APH Cruz de Ventanas y rangos históricos de referencia, 2017 – 2025	145
Ilustración 24. Mapa del NDVI medio del APH Simiátug	147

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de páramo constituyen uno de los patrimonios naturales más importantes de la región andina, debido a su capacidad para almacenar, regular y suministrar agua a las poblaciones que dependen de este recurso para su bienestar y desarrollo. Además de su función hídrica, estos ecosistemas albergan una gran diversidad biológica y cumplen un papel fundamental en la regulación ambiental, la conservación del suelo y el mantenimiento de valores culturales y sociales asociados a las comunidades que habitan su entorno (Robert Hofstede, 2001).

En Ecuador, los páramos tienen una relevancia especial porque actúan como zonas estratégicas para la seguridad hídrica, sobre todo en áreas rurales donde el acceso al agua depende en gran medida del buen estado de conservación de estos espacios. Sin embargo, en los últimos años se han intensificado distintas presiones sobre ellos, tanto por actividades humanas como por la variabilidad y el cambio climático. La reducción o alteración de las lluvias, la presencia de períodos secos más prolongados y los cambios en la humedad del suelo pueden modificar el funcionamiento natural del páramo y afectar los servicios que este presta a la población (Robert Hofstede, 2001).

En este contexto se ubica el Área de Protección Hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, en la parroquia Simiátug, cantón Guaranda. Este territorio cumple una función esencial en la regulación y provisión de agua para el consumo y para las actividades productivas de la zona. Por ello, su conservación no solo asegura la disponibilidad del recurso hídrico, también, contribuye a mantener procesos ecológicos indispensables para la calidad de vida de la población y para la resiliencia del territorio frente a escenarios climáticos adversos.

Esta investigación se desarrolló con el propósito de comprender el valor que la población de Cruz de Ventanas asigna a los servicios ecosistémicos del páramo y analizar de qué manera estos podrían verse afectados ante diferentes escenarios climáticos. Para alcanzar este objetivo, se realizó una valoración integral que incorpora las dimensiones social, ambiental, económica y cultural. De forma complementaria, se analizaron variables biofísicas como la precipitación, la humedad del suelo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). La integración de esta información permitió evaluar el comportamiento de la cobertura vegetal frente a distintos escenarios climáticos durante el período comprendido entre 2017 y 2025 (Villarreal et. al, 2023).

El contenido se encuentra estructurado en cinco capítulos. El Capítulo I corresponde a la formulación general del proyecto, en el que se desarrolla el planteamiento y la formulación del problema, los objetivos, la justificación, la idea a defender y las variables de estudio. El Capítulo II presenta el marco teórico, integrado por los antecedentes, el marco científico, legal y conceptual que sustenta la investigación. En el Capítulo III se describe la metodología empleada, incluyendo el tipo y enfoque de investigación, los métodos, técnicas, instrumentos, población y procedimientos para el análisis de la información. El Capítulo IV expone los resultados obtenidos y su respectiva discusión, organizados de acuerdo con los objetivos específicos planteados. Finalmente, el Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas de los principales hallazgos de la investigación.

De esta manera se busca aportar conocimiento científico sobre los ecosistemas de páramo y generar información útil para la toma de decisiones orientadas a garantizar la protección de los recursos hídricos y el bienestar de las generaciones presentes y futuras.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la valoración de los servicios ecosistémicos, desde las dimensiones ambiental, social, económica y cultural, ante escenarios de cambio climático en el Área de Protección Hídrica (APH) de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda. Se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos. Para la identificación de los servicios ecosistémicos se emplearon la revisión documental y la observación de campo, mientras que su valoración social, ambiental, económica y cultural se realizó mediante encuestas aplicadas a los habitantes de la comunidad. Adicionalmente, se analizaron variables hidro climáticas y biofísicas correspondientes al período 2017–2025, entre ellas precipitación, humedad del suelo, Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), temperatura mínima, temperatura máxima e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); asimismo, se contrastaron las condiciones históricas con las proyecciones climáticas para 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585.

Los resultados permitieron identificar servicios ecosistémicos de provisión, regulación, soporte y culturales, destacándose especialmente los relacionados con la provisión y regulación hídrica, debido a su importancia para el abastecimiento de agua y el desarrollo de las actividades de la comunidad. La valoración realizada evidenció que los habitantes reconocen la importancia del páramo para su bienestar y sus actividades productivas, así como una percepción favorable hacia su conservación; además, mediante la valoración contingente se estimó una disposición a pagar promedio de 1,96 USD mensuales por hogar para contribuir a acciones de conservación. En cuanto a las condiciones climáticas, el análisis histórico permitió establecer rangos de referencia propios del APH, identificándose un P25 de precipitación de 42,08 mm y un P25 del PDSI de $-3,15$, este último asociado con condiciones de sequía severa según la clasificación de

Palmer. Las proyecciones para 2021–2040 mostraron que, bajo los escenarios SSP245 y SSP585, entre junio y septiembre podrían presentarse precipitaciones inferiores al P25 histórico, alcanzando en julio valores de 17,50 mm y 16,25 mm, respectivamente. Estas condiciones representan períodos potencialmente más secos respecto al comportamiento histórico del área y podrían modificar el contexto ambiental en el que funcionan los servicios de provisión y regulación hídrica. En conjunto, los resultados proporcionan una línea base para orientar acciones de conservación, gestión hídrica y adaptación frente al cambio climático en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Palabras clave: servicios ecosistémicos, páramo andino, regulación hídrica, NDVI, cambio climático.

ABSTRACT

This research aimed to determine the valuation of ecosystem services—across environmental, social, economic, and cultural dimensions—under climate change scenarios within the Water Protection Area (APH) of the Cruz de Ventanas community (Simiátug parish, Guaranda canton). The study employed a mixed-methods approach, integrating qualitative and quantitative techniques. Ecosystem services were identified through a literature review and field observations, while their social, environmental, economic, and cultural valuation was conducted via surveys administered to community residents. Additionally, hydro-climatic and biophysical variables for the 2017–2025 period were analyzed, including precipitation, soil moisture, the Palmer Drought Severity Index (PDSI), minimum and maximum temperatures, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); historical conditions were also compared against climate projections for 2021–2040 under the SSP245 and SSP585 scenarios.

The results identified provisioning, regulating, supporting, and cultural ecosystem services, with particular emphasis on those related to water provision and regulation, given their importance for the community's water supply and productive activities. The valuation revealed that residents recognize the importance of the *páramo* ecosystem for their well-being and productive activities and hold a favorable view regarding its conservation; furthermore, contingent valuation estimated an average willingness to pay of 1.96 USD per household per month to support conservation efforts. Regarding climatic conditions, the historical analysis established reference ranges specific to the APH, identifying a 25th percentile (P25) for precipitation of 42.08 mm and a P25 for the PDSI of -3.15 —the latter indicating severe drought conditions according to the Palmer classification. Projections for 2021–2040 indicated that, under the SSP245 and SSP585 scenarios, precipitation levels below the historical 25th percentile (P25) could occur between June and September, reaching values of 17.50 mm and 16.25 mm in July, respectively. These conditions represent potentially drier periods compared to the area's historical patterns and could alter the environmental context in which water supply and regulation services operate. Overall, the results provide a baseline to guide conservation, water management, and climate change adaptation actions in the Cruz de Ventanas Water Protection Area.

Keywords: ecosystem services, Andean paramo, water regulation, NDVI, climate change.

CAPÍTULO I: FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del problema

Los ecosistemas de páramo en los Andes enfrentan una creciente presión derivada de múltiples factores antrópicos como de los efectos asociados a la variabilidad y al cambio climático, entre las principales amenazas se encuentran la expansión de la agricultura y el pastoreo extensivo, la degradación de la cobertura vegetal y la ocurrencia de los eventos climáticos, factores que comprometen la capacidad de estos ecosistemas para mantener sus funciones ecológicas y los servicios que brindan a la población (Buytaert Wouter, 2006).

En este contexto, el Área de Protección Hídrica (APH) de la comunidad Cruz de Ventanas, ubicada en la parroquia Simiátug del cantón Guaranda, constituye un ecosistema estratégico para la provisión y regulación hídrica y el abastecimiento de agua de las comunidades locales. Sin embargo, la alteración de las condiciones climáticas, conjuntamente con las presiones ejercidas sobre el ecosistema, puede modificar progresivamente el funcionamiento ecológico del páramo y afectar su capacidad para almacenar y regular el recurso hídrico.

Las alteraciones en las condiciones hídricas pueden comprometer la resiliencia del ecosistema. Al respecto, (Guaman Stalin, 2026) destaca el papel fundamental de las aguas subterráneas en la regulación hídrica del páramo andino, cabe indicar que, la degradación del suelo y de la cobertura vegetal pueden generar implicaciones sobre la capacidad de retención y disponibilidad del recurso hídrico para las comunidades que dependen de él.

A nivel territorial, las proyecciones climáticas y los lineamientos institucionales relacionados con la gestión de riesgos advierten sobre las posibles modificaciones en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos. En el caso de Simiátug, las amenazas

climáticas consideradas son las sequías, precipitaciones, fenómenos que pueden afectar el funcionamiento ecológico del páramo y, en consecuencia, la provisión de los servicios ecosistémicos que este proporciona a la población.

Comprender la importancia que los habitantes de Cruz de Ventanas atribuyen a los servicios ecosistémicos del páramo; la población mantiene una relación directa con este ecosistema debido a los beneficios que obtiene de él, especialmente aquellos vinculados con el abastecimiento y la regulación del agua, así como con sus actividades productivas y sus valores sociales y culturales, sin embargo, la ausencia de una valoración que integre la percepción comunitaria dificulta conocer la importancia social, ambiental, económica y cultural asignada a estos servicios, así como la disposición de los habitantes para participar o contribuir en acciones orientadas a su conservación. Esta información resulta necesaria debido a que la gestión del Área de Protección Hídrica no depende únicamente del conocimiento de sus condiciones biofísicas, sino también de la relación, percepción y valoración que la población mantiene con los beneficios proporcionados por el ecosistema.

Bajo el marco de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial Suplemento 305, 2014) de Ecuador, la conservación de las Áreas de Protección Hídrica constituye una prioridad para contribuir la seguridad hídrica de las comunidades. No obstante, en Cruz de Ventanas persisten vacíos de información que permitan integrar, por una parte, la identificación de los servicios ecosistémicos y la valoración que la población les asigna desde las dimensiones social, ambiental, económica y cultural y, por otra parte, el comportamiento de las condiciones hidroclimáticas y de la cobertura vegetal frente a posibles escenarios de cambio climático. La falta

de esta integración limita una comprensión conjunta del valor del ecosistema y de las condiciones ambientales que podrían influir sobre los servicios que proporciona.

En este sentido, resulta necesario identificar los servicios ecosistémicos presentes en el páramo de Cruz de Ventanas y conocer la valoración que los habitantes asignan a estos beneficios. De manera paralela, es necesario analizar variables como la precipitación, la humedad del suelo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), las temperaturas y evaluar la respuesta de la cobertura vegetal mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). La integración de la valoración comunitaria con el análisis de las condiciones ambientales permitirá disponer de una visión más amplia del Área de Protección Hídrica y analizar las posibles implicaciones que los escenarios de cambio climático podrían tener sobre la provisión y regulación de sus servicios ecosistémicos.

Por lo tanto, el problema de investigación radica en la limitada información integral sobre los servicios ecosistémicos presentes en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, el valor social, ambiental, económico y cultural que les atribuye la población y las posibles variaciones de las condiciones ambientales y de la cobertura vegetal ante escenarios de cambio climático.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es la valoración integral de los servicios ecosistémicos, desde las dimensiones ambiental, social, económica y cultural, y cuáles son sus posibles implicaciones ante escenarios de cambio climático en el Área de Protección Hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la valoración integral de los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, considerando las dimensiones ambiental, social, económica y cultural y las posibles implicaciones de los escenarios de cambio climático.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los servicios ecosistémicos presentes en el páramo de Cruz de Ventanas, caracterizando su estado de conservación y las principales formas de uso.
2. Estimar el valor social, ambiental, económico y cultural que los habitantes de la comunidad asignan a los servicios del ecosistema de páramo, empleando metodologías de percepción comunitaria y disposición económica.
3. Relacionar las posibles variaciones en las condiciones ambientales y el comportamiento de la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica ante escenarios de cambio climático, mediante la integración de variables climáticas e indicadores de respuesta ecosistémica, para identificar sus posibles implicaciones sobre la provisión y regulación de los servicios ecosistémicos.

1.4 Justificación

Los ecosistemas de páramo constituyen la base fundamental para el sostenimiento de los ciclos hidrológicos en la región andina, sin embargo, frente a los inminentes escenarios de cambios climáticos, la vulnerabilidad de estos ecosistemas pone en peligro la seguridad hídrica de las comunidades que dependen de ellos; bajo este contexto, la presente investigación se

justifica desde múltiples dimensiones, aportando tanto al conocimiento científico como a la gestión del territorio en la parroquia Simiátug (Llambí, 2012).

Desde la importancia social y práctica, el estudio en el Área de Protección Hídrica (APH) de la comunidad Cruz de Ventanas resulta de vital importancia, ya que la población depende directa e indirectamente de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación hídrica para su consumo humano y el sostenimiento de sus actividades agropecuarias, al establecer una valoración integral que incluya las dimensiones económica, social, ambiental y cultural, se proporciona a la comunidad y a los tomadores de decisiones locales una línea base realista de la situación, esta información es clave para justificar futuras inversiones hacia soluciones ambientales, esquemas de compensación por servicios ambientales y mecanismos de adaptación comunitaria frente a sequías, precipitaciones extremas.

Desde el punto de vista científico, esta investigación aporta al conocimiento sobre la respuesta de los ecosistemas de páramo frente a escenarios de cambio climático mediante la integración de variables biofísicas como la precipitación, la humedad del suelo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), El análisis conjunto de estos indicadores permite identificar las condiciones climáticas que pueden generar alteraciones en el funcionamiento ecológico del páramo y afectar la provisión de los servicios ecosistémicos, especialmente aquellos relacionados con la regulación hídrica; Asimismo, el establecimiento de rangos históricos de referencia mediante el análisis de percentiles permite caracterizar la variabilidad observada de las condiciones hidroclimáticas y de la cobertura vegetal, facilitando la identificación de períodos con valores relativamente bajos, intermedios o altos respecto al comportamiento histórico del área de estudio. Estos rangos constituyen referencias estadísticas internas y no umbrales ecológicos universales, por lo que su interpretación debe realizarse de

manera integrada con las características del ecosistema y la variabilidad temporal de las condiciones ambientales. Este análisis proporciona información técnica de utilidad para futuras investigaciones relacionadas con la adaptación al cambio climático y la conservación de áreas estratégicas para la protección hídrica (IPCC, 2022).

De igual manera, la incorporación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), datos climáticos multitemporales y escenarios climáticos futuros fortalece el análisis espacial y temporal de las dinámicas ecosistémicas, permitiendo generar evidencia científica útil para la planificación territorial, la gestión de riesgos y la toma de decisiones orientadas a la conservación de los recursos naturales.

Finalmente, esta investigación se respalda en la relevancia legal e institucional, ya que se alinea de manera directa con los preceptos de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, Registro Oficial Suplemento 305, 2014) y el Código Orgánico del Ambiente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017), así como, los lineamientos técnicos de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) para el análisis de vulnerabilidad climática, al enfocarse en un Área de Protección Hídrica (APH) formalmente reconocida, los resultados y mapas obtenidos servirán como insumo técnico referencial para la actualización del plan de manejo ambiental del área, promoviendo políticas de conservación, reducción del riesgo de desastres y salvaguarda del patrimonio natural del cantón Guaranda.

1.5 Hipótesis

Hipótesis General: Las variaciones de las condiciones hidroclimáticas (precipitación, humedad del suelo y PDSI) presentan una correlación estadísticamente significativa con la respuesta de la cobertura vegetal (NDVI) en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existe una correlación estadísticamente significativa ($p_s \neq 0$; $p \leq 0,05$) entre las variaciones de las condiciones hidroclimáticas (precipitación, humedad del suelo y PDSI) y la respuesta de la cobertura vegetal (NDVI) en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Hipótesis Nula (H_0): No existe una correlación estadísticamente significativa ($p_s = 0$; $p > 0,05$) entre las variaciones de las condiciones hidroclimáticas (precipitación, humedad del suelo y PDSI) y la respuesta de la cobertura vegetal (NDVI) en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

1.6 Variables

1.6.1 Variable Independiente:

Escenarios de cambios climáticos

1.6.2 Variable Dependiente:

Servicios ecosistémicos

1.6.3 Operacionalización de Variable

- **Variable Independiente: Escenarios de cambio climáticos**

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Condiciones hidroclimáticas y escenarios de cambio climático	Conjunto de condiciones hidroclimáticas históricas y posibles condiciones climáticas futuras utilizadas para analizar las variaciones ambientales del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.	Precipitación	Precipitación mensual durante 2017–2025; media, mínimo, máximo, desviación estándar, P25 y P75; precipitación mensual proyectada para 2021–2040; comparación con P25 y P75 históricos; diferencias entre escenarios SSP245 y SSP585.	Intervalo/razón	Base de datos TerraClimate y WorldClim v2.1; procesamiento estadístico y espacial en ArcGIS Pro; cálculo de percentiles.
		Humedad del suelo	Humedad del suelo mensual durante 2017–2025; media, mínimo, máximo, desviación estándar, P25 y P75.	Intervalo/razón	Base de datos TerraClimate; procesamiento estadístico y espacial en ArcGIS Pro; cálculo de percentiles.

PDSI	PDSI mensual durante 2017–2025; media, mínimo, máximo, desviación estándar, P25 y P75; identificación de condiciones relativamente secas, intermedias y húmedas.	Intervalo/razón	Base de datos TerraClimate; procesamiento estadístico en ArcGIS Pro; cálculo de percentiles.
Temperatura mínima	Temperatura mínima mensual durante 2017–2025; media, mínimo, máximo, desviación estándar, P25 y P75; temperatura mínima mensual proyectada para 2021–2040; comparación con P25 y P75 históricos; diferencias entre escenarios SSP245 y SSP585.	Intervalo/razón	Base de datos TerraClimate y WorldClim v2.1; modelo MRI-ESM2-0; escenarios SSP245 y SSP585; procesamiento estadístico y espacial en ArcGIS Pro.
Temperatura máxima	Temperatura máxima mensual durante 2017–2025; media, mínimo, máximo, desviación estándar, P25 y P75; temperatura máxima mensual proyectada para 2021–2040; comparación	Intervalo/razón	Base de datos TerraClimate y WorldClim v2.1; modelo MRI-ESM2-0; escenarios SSP245 y SSP585;

		con P25 y P75 históricos; diferencias entre escenarios SSP245 y SSP585.	procesamiento estadístico y espacial en ArcGIS Pro.
	Cobertura vegetal	NDVI medio, mínimo, máximo, P25 y P75; comportamiento temporal del NDVI durante 2017–2025; identificación de valores históricamente bajos Intervalo (<0,443), intermedios (0,443–0,551) y altos (>0,551); distribución espacial del NDVI medio para el período 2019–2025.	Imágenes Sentinel-2; Google Earth Engine; procesamiento estadístico y espacial en ArcGIS Pro; hoja de cálculo.

Elaborado por: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

- **Variable Dependiente: Servicios ecosistémicos**

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Servicios ecosistémicos	Beneficios y contribuciones que los ecosistemas proporcionan a las personas y que favorecen su bienestar y calidad de vida. En el contexto del ecosistema de páramo, comprenden funciones y beneficios asociados, entre otros aspectos, con la provisión y regulación	Identificación de los servicios ecosistémicos presentes.	Tipo de servicios reconocidos por la comunidad (hídricos, de soporte, provisión, culturales)	Nominal	• Revisión Bibliográfica • Observación de campo • Ficha de Observación
		Social	1. La importancia del páramo para la comunidad. 2. Formas de beneficio que la comunidad obtiene del páramo. 3. Participación comunitaria en actividades de conservación del páramo mediante incentivos económicos.	• Ordinal (Muy importante a Sin importancia) • Nominal (Opción múltiple) • Nominal/Ordinal (Condiciones de participación)	Cuestionario estructurado aplicado a la población objetivo

hídrica, la conservación	Ambiental	1. Estado actual de conservación del páramo en la comunidad.	• Ordinal (Excelente a Malo)	Cuestionario estructurado aplicado a la población objetivo,
del suelo, el		2. Cambios observados en el páramo durante los últimos cinco años.	• Nominal (Tipo de cambios detectados)	
mantenimiento de la		3. Conocimiento de instrumentos o políticas para el manejo del páramo de Cruz de Ventanas.	• Dicotómica nominal (Políticas conocidas)	
biodiversidad y los		4. Acciones comunitarias propuestas para la conservación del páramo.		
valores sociales y				
culturales vinculados al				
territorio.				

Cambios climáticos	1. Cambio en la frecuencia de los eventos climáticos durante los últimos diez años.	Nominal (tipos de cambios detectados)	Cuestionario estructurado aplicado a la población objetivo,
	2. Nivel de afectación de los eventos climáticos en la economía y seguridad del hogar.		
Económica	1. Importancia del páramo para la actividad económica principal de la familia.	• Ordinal (Nivel de importancia)	Cuestionario estructurado aplicado a la población objetivo
	2. Pago mensual por el servicio del agua recibido.	• Ordinal por intervalos (Rangos en USD)	
	3. Disposición mensual del hogar a aportar para un fondo de conservación hídrica.	• Ordinal por intervalos (Rangos USD)	

4. Afectación de la vida diaria ante el deterioro del páramo y la disminución de sus servicios ecosistémicos.
5. Compensación económica mensual aceptada ante actividades que generen deterioro del páramo.
6. Tipo de apoyo o compensación preferido para incentivar la participación comunitaria en la conservación del páramo.

Cultural

1. Significado cultural, espiritual o identitario del páramo para la persona o su familia.
 - **Dicotómica** (Si /No) Cuestionario estructurado
2. Prácticas y conocimientos ancestrales relacionados con el cuidado del páramo.
 - **Nominal** (Descripción cualitativa abierta) aplicado a la población objetivo
3. Percepción sobre la contribución de la protección legal y comunitaria del APH a la conservación de costumbres,
 - **Ordinal tipo Likert** (totalmente de

tradiciones e identidad de la comunidad de Cruz de Ventanas. acuerdo a En desacuerdo)

Elaborado por: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Referencial y Georreferencial

La comunidad de Cruz de Ventanas pertenece a la parroquia rural Simiátug, en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar, sierra centro del Ecuador, este sector se encuentra en el extremo norte del cantón, en la cordillera occidental, limita con las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, así como, las parroquias Salinas y Facundo Vela, de acuerdo con las fuentes locales y registros de memoria comunitaria, el topónimo “Cruz” constituye a un símbolo de profundo respeto y conmemoración hacia los antepasados originarios del sector que fueron sepultados en dicho territorio. Por otra parte, el término “Ventanas” tiene relación a una caracterización geomorfológica derivada de las formaciones rocosas de las montañas circundantes, cuyas aberturas y cavidades naturales se asemejan a estructuras de ventanas, dando así al paisaje un alto valor simbólico, cultural e identitario para sus habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Simiátug, 2024)

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Simiátug, la parroquia abarca unos 308 km^2 , con altitudes que superan los 3,000 metros sobre el nivel del mar, en este territorio predominan los ecosistemas de páramos y bosques montanos que funcionan como cabeceras de cuenca, captando la lluvia y liberándola de forma gradual, lo que permite alimentar los ríos que dan vida la comunidad (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Simiátug, 2024).

En el ámbito político e institucional, esta zona cuenta con un estatus de conservación legal estratégico mediante la Resolución Nro, MAATE-DZ5-DAPH-4373-2022-R, expedida con la Dirección Zonal 5 del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar, 2022), a través de

este dictamen, el APH Simiátug cubre un polígono de 4,093 hectáreas, constituida casi todo páramo andino puro, y genera un caudal constante de unos 52 litros por segundo que llega a las familias, al ganado y a los cultivos de la zona (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Simiátug, 2021).

La declaración del APH por parte del (MAATE, 2022) surgió de un proceso en el que once comunidades locales, junto al municipio, el gobierno parroquial y las organizaciones de cooperación participaron conjuntamente y delinearon un corredor biológico de conservación que integra esta área protegida. Este corredor tiene como objetivo el garantizar la integridad ecológica de los ecosistemas de páramo y las fuentes hídricas que abastecen a los sistemas comunitarios de agua potable y riego, así, se consolida un espacio de gestión territorial donde la valoración de los servicios ecosistémicos se posiciona como herramienta fundamental para la planificación estratégica y toma de decisiones informadas en la parroquia.

2.2 Antecedentes

En los últimos años se han desarrollado investigaciones que buscan entender mejor que servicios ecosistémicos ofrecen los páramos andinos y cómo los perciben las comunidades que viven en su entorno, a nivel regional y provincial, la planificación territorial ha comenzado a integrar criterios ecológicos para enfrentar vulnerabilidades de los ecosistemas frágiles, en la provincia de Bolívar, se han desarrollado instrumentos técnicos orientados a identificar las potencialidades y restricciones del territorio, determinando zonas de altura que requieren esquemas prioritarios de protección debido a su susceptibilidad física y su importancia para el desarrollo local (Bolívar, 2024), no obstante, los ecosistemas altoandinos enfrentan degradación progresiva, de acuerdo con los agrónomos y veterinarios

Sin fronteras ([AVSF], 2023), los páramos se encuentran bajo constantes amenazas y presiones antrópicas, tales como el avance de la agricultura, el sobrepastoreo y las quemas dinámicas que se ven severamente agudizadas por los efectos de la variabilidad climática que ponen en riesgo la continuidad de la provisión hídrica.

Frente a estas amenazas, las investigaciones recientes demuestran la viabilidad de abordar la conservación desde una perspectiva integral que combine la caracterización biofísica y la respuesta comunitaria. En la sierra centro del Ecuador, (Albán Ruiz, 2025) desarrolló un estudio que va enfocado en la valoración económica de los servicios ecosistémicos del páramo en una comunidad rural de Cotopaxi, demostrando que la estimación de la importancia ambiental y el diseño de estrategias de conservación y uso sostenible por parte de los habitantes locales frenan el deterioro de los recursos naturales y fortalecen la resiliencia territorial. Este enfoque resalta que la valoración económica funciona como un mecanismo técnico que asigna un valor tangible a los beneficios invisibles del páramo para asegurar su gobernanza.

Complementando este enfoque socioeconómico, el análisis de las dinámicas del suelo y la visión de la población se posicionan como elemento metodológico esencial, al respecto, (Duran Lopez et al., 2021) examinaron los suelos de páramo mediante un diseño mixto que integró el análisis de percepciones comunitarias sobre los servicios ecosistémicos y la valoración económico de sus componentes biofísicos. Los resultados de esta investigación arrojaron que existe una correlación directa entre el nivel de conocimiento o percepción que posee la comunidad sobre los beneficios del ecosistema y su disposición a participar en la gestión sostenible del recurso hídrico y del suelo.

2.3 Marco Científico

Este marco se fundamentó en la capacidad reguladora hídrica de los páramos andinos como reservorios naturales, su marcada sensibilidad al cambio y la variabilidad climática, y las prácticas de conservación y adaptación que han sido aplicadas en los Andes durante los últimos años.

2.3.1 Ecosistema

Un ecosistema puede entenderse como un sistema en el que conviven seres vivos y elementos no vivos, interactuando de manera constante a través de intercambios de energía y materia. Estas relaciones permiten que se desarrollen procesos esenciales como la producción biológica, el reciclaje de nutrientes y la regulación del agua, los cuales son fundamentales para mantener los servicios que la naturaleza brinda y que resultan indispensables para la vida humana (Chapin et al., 2011).

El páramo es un ecosistema propio de las zonas altoandinas, que suele encontrarse entre los 3.000 y 4.800 m s. n. m., se caracteriza por presentar bajas temperaturas, alta humedad en el ambiente, una fuerte radiación solar y cambios de temperatura bastante marcados a lo largo del día; además, sus suelos, ricos en materia orgánica y con gran capacidad para retener agua, junto con una vegetación adaptada a condiciones exigentes, le permiten almacenar y regular el recurso hídrico en las cuencas andinas (Ochoa et al., 2016). Por estas razones, el páramo cumple un papel fundamental en la seguridad hídrica de la región y resulta clave frente a los retos que plantea la variabilidad y el cambio climático.

2.3.2 Ecosistemas de páramo andino

Los ecosistemas de páramo andino se extienden como una franja de alta montaña que, por lo general, se ubica por encima de los 3.000 metros de altitud (Serrano Giné y Galárraga Sánchez, 2015). En estos espacios predominan condiciones ambientales particulares, como temperaturas bajas, alta radiación solar y marcadas variaciones térmicas entre el día y la noche. A esto se suman suelos jóvenes, profundos y con abundante materia orgánica, que influyen directamente en la presencia de pastizales, matorrales y humedales propios de estas alturas. Además, el páramo puede entenderse como un sistema territorial complejo, donde la topografía, el clima y las actividades humanas interactúan, dando lugar a paisajes en los que conviven áreas conservadas con zonas destinadas a la agricultura y la ganadería (Serrano Giné y Galárraga Sánchez, 2015).

Por otro lado, el páramo andino destaca por su notable diversidad vegetal, especialmente si se compara con otros ecosistemas de montaña a nivel mundial. Esta riqueza se explica, en gran medida, por procesos de especiación asociados al aislamiento altitudinal, así como, por la historia geológica y climática de los Andes tropicales, factores que han favorecido altos niveles de endemismo (Hofstede y Llambí, Plant Diversity and Biogeography of the Tropical Andes, 2020). Entre los grupos vegetales más representativos se encuentran las familias Asteraceae, Orchidaceae y Poaceae, que conforman comunidades complejas integradas por pajonales, frailejones, cojines y arbustos, todos ellos adaptados a las condiciones ambientales exigentes propias de estos ecosistemas.

2.3.3 Servicios ecosistémicos del páramo en zonas de producción hídrica

Los páramos que se encuentran ubicados en zonas de producción hídrica se consideran factores importantes para el funcionamiento de las cuencas andinas, porque de ellos depende una parte importante del agua que llega a las zonas medias y bajas, por su parte

Llambí (2012), señala que sus suelos, profundos y cargados de materia orgánica, funcionan como una reserva silenciosa: absorben la lluvia, la almacenan durante semanas o meses y la devuelven poco a poco a riachuelos y ríos, suavizando los cambios bruscos de caudal a lo largo del año. Gracias a este procedimiento, incluso en periodos relativamente secos las comunidades aguas abajo siguen disponiendo de agua para consumo doméstico y para mantener sus actividades agrícolas, lo que convierte al páramo en soporte cotidiano para la vida y la económica local.

Desde la ecohidrología de montaña también se pone énfasis en el papel de la vegetación que cubre estas zonas de recarga. Según Llambí (2012), los pajonales, matorrales y humedales no solo “visten” el paisaje, sino que amortiguan la fuerza de la lluvia, favorecen la infiltración y protegen el suelo frente a la erosión, de modo que el agua permanece más tiempo en el sistema suelo-vegetación antes de incorporarse a los cauces. Cuando estas coberturas se degradan o se reemplazan por usos más intensivos, una parte del agua comienza a escurrir rápidamente por la superficie, aumenta la pérdida de suelo y se reduce la capacidad del páramo para almacenar y filtrar el agua, con efectos directos en la cantidad y calidad del recurso disponible para las poblaciones aguas abajo (Llambí, 2012).

2.3.4 Ecohidrología y Dinámica funcional del Páramo Andino

El páramo es un ecosistema neotropical de alta montaña distribuido predominantemente entre los 3.000 y 4.800 msnm, caracterizado por una atmosfera de baja presión, alta radiación ultravioleta y fluctuaciones térmicas diarias extremas que superan la variación estacional anual (Galvis-Ungar, 2021). Desde la perspectiva hidrológica, su excepcional capacidad de regulación no radita únicamente en los volúmenes de precipitación

recibidos, sino en las propiedades pedológicas de sus suelos y en el rol amortiguador de su cobertura vegetal.

Los suelos de páramo (principalmente Andosoles e Histosoles) poseen una baja densidad aparente y una porosidad total elevada, comportándose como macroesponjas hídricas naturales que retener el agua capilar y la liberan paulatinamente hacia los causes de drenaje (Lazo et al., 2019). Investigaciones hidrológicas recientes desarrolladas demuestran que el almacenamiento subterráneo pasivo y el flujo base regulado por el agua estancada en el suelo orgánico juegan un papel crítico en el sostenimiento de los caudales superficiales durante las épocas de estiaje. No obstante, el cambio de uso del suelo mediante labranza, quemas recurrentes y el sobrepastoreo altera la macroestructura porosa, acelerando la escorrentía superficial y provocando una pérdida irreversible de la capacidad de infiltración.

2.3.5 Criterios y Metodologías para Valoración de Servicios Ecosistémicos

La valoración de los servicios ecosistémicos permite analizarlos desde varias perspectivas complementarias: una perspectiva biofísica, otra económica y otra sociocultural, cada una con herramientas propias para comprender la relación entre los ecosistemas y el bienestar humano. En el marco estadístico internacional, la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas (2022) distingue tres grandes enfoques de valoración: en primer lugar, la cuantificación biofísica, que expresa los servicios en unidades físicas como volúmenes de agua, toneladas de carbono o hectáreas conservadas; en segundo lugar, la valoración monetaria, que traduce dichos servicios a términos económicos; y, en tercer lugar, la valoración sociocultural, que se centra en las percepciones, identidades, valores simbólicos y significados que las personas atribuyen a la naturaleza. En caso de los páramos andinos, estos enfoques son útiles para comprender servicios hidrológicos como la regulación de

caudales, la atenuación de picos de crecida y la capacidad de almacenamiento y liberación gradual de agua, procesos que en conjunto sostienen el suministro hídrico de las poblaciones asentadas aguas abajo y contribuyen a su seguridad y calidad de vida.

En el campo de la valoración monetaria, la literatura especializada en economía ambiental suele organizar las metodologías en tres grandes grupos: métodos de mercado, métodos de costos y métodos basados en preferencias reveladas o declaradas, como señalan Selivanov (2021) y Plan Bleu (2016). Los métodos de mercado se apoyan en precios existentes, por ejemplo, tarifas de agua potable, valores de productos agropecuarios o costos de insumos, a partir de ellos, permiten aproximarse de manera directa al valor de los servicios ecosistémicos cuando hay un mercado que refleja, al menos parcialmente, dichos beneficios (Selivanov, 2021). En cambio, los métodos de costos se centran en estimar cuánto sería necesario invertir para reemplazar o restaurar un servicio degradado mediante infraestructura, como reservorios, plantas de tratamiento u obras de protección, o a través de acciones de restauración ecológica, entre ellas la reforestación con especies nativas y el manejo de coberturas en zonas de recarga hídrica, tal como lo exponen Plan Bleu (2016) y la ELD Initiative (2015). Finalmente, los métodos de preferencias reveladas y declaradas el costo de viaje, los precios hedónicos, la valoración contingente y los experimentos de elección discreta permiten estimar el valor de servicios que no cuentan con un precio de mercado visible, por ejemplo, la regulación hídrica del páramo, la calidad paisajística o la conservación de caudales ecológicos mínimos, según describen Selivanov (2021) y otros autores dedicados a la valoración económica de la naturaleza.

En estudios recientes desarrollados en páramos ecuatorianos, varios trabajos muestran que la valoración contingente se ha consolidado como una herramienta recurrente

para estimar la disposición a pagar de los usuarios de agua por la conservación de la cobertura de páramo y el mantenimiento del servicio hídrico, como muestra la investigación de Campos Collaguazo (2024). Este método construye escenarios hipotéticos de mejora o deterioro del ecosistema y, mediante encuestas estructuradas, solicita a las personas que expresen cuánto estarían dispuestas a aportar económicamente o a aceptar como compensación frente a cambios en la provisión del servicio, siguiendo el procedimiento clásico descrito en la literatura de valoración contingente (Selivanov, 2021).

En el contexto de mecanismos de compensación por servicios ambientales hídricos, la valoración contingente suele complementarse con funciones de producción que relacionan variaciones en el uso del suelo en las zonas altas con cambios en caudal y calidad del agua, lo que permite diseñar esquemas de pago entre los usuarios aguas abajo y los propietarios de tierras en áreas de recarga, como señalan Espinosa (2005) y el Fondo para la Protección del Agua (2021). Este tipo de aproximación adquiere especial sentido en parroquias como Simiatug, donde la seguridad hídrica y la vida cotidiana de las comunidades dependen del estado de conservación del páramo y de las decisiones colectivas que se adopten para su manejo y protección (Gobierno Autónomo Descentralizado de Guaranda, 2022; CONDESAN, 2021). Costanza et al. (2014) señalan que: el valor económico global anual de estos servicios va entorno a los 125 billones de dólares estadounidenses, enfatizando su relevancia no solo monetaria, sino estructural para el bienestar social (p. 153).

La valoración sociocultural, por otro lado, incorpora los significados no monetarios que las comunidades asignan a los servicios ecosistémicos, incluyendo valores espirituales, identitarios, recreativos y de memoria colectiva, tal como destacan Iniesta-Arandia et al. (2014) y Baltazar et al. (2022) al abordar estas dimensiones simbólicas en sus estudios. Para

capturar esta dimensión recurrieron a técnicas como mapeo participativo, encuestas de percepción, talleres comunitarios, ejercicios de priorización de servicios y métodos deliberativos, que permiten identificar qué funciones del páramo son reconocidas como más importantes y cómo se articulan con los modos de vida locales (Bernués et al., 2014; Baltazar et al., 2022). En ejemplo Cruz de Ventanas, este tipo de aproximación permite entender con más claridad la relación histórica de las familias con el agua de páramo, las prácticas tradicionales de manejo y las motivaciones sociales que pueden facilitar o dificultar la implementación de medidas de conservación y adaptación al cambio climático.

2.3.6 Componentes de producción hídrica

La producción hídrica de una cuenca puede entenderse, como el agua que finalmente llega a los ríos después de que el territorio ha “procesado” la lluvia que recibe. No toda el agua proveniente de la lluvia llega directamente a los cauces, ya que una parte se evapora, otra es aprovechada por la vegetación mediante la evapotranspiración y otra permanece almacenada en el suelo o en los acuíferos. El caudal que se observa en los ríos es el resultado de la interacción entre estos componentes y refleja la capacidad que tiene el ecosistema para captar, almacenar y liberar agua de manera continua. En ecosistemas de páramo, incluso pequeñas modificaciones en la precipitación, la cobertura vegetal o las características del suelo pueden generar cambios importantes en la disponibilidad hídrica para las poblaciones ubicadas aguas abajo (Buytaert y otros, 2006).

Los ecosistemas de páramo tienen un papel clave en la regulación del agua en las cuencas andinas, debido a sus particulares condiciones ecológicas e hidrológicas. Sus suelos, con alto contenido de materia orgánica, y su vegetación adaptada a ambientes muy húmedos favorecen la infiltración y el almacenamiento de grandes volúmenes de agua.

Luego, este recurso se libera poco a poco hacia los ríos y quebradas, lo que contribuye a mantener caudales más estables en épocas de escasa precipitación (Lazo et al., 2019). Gracias a estas condiciones, los páramos constituyen una fuente estratégica de agua para el abastecimiento humano, las actividades agropecuarias y otros usos productivos en la región andina.

La manera en que el agua se mueve dentro de estas cuencas ha sido estudiada con detalle por Mosquera y colaboradores, quienes han analizado la dinámica temporal de las fuentes de escorrentía y de las trayectorias de flujo en cabeceras de páramo.

En los páramos ecuatorianos, la capacidad de almacenamiento hídrico se encuentra asociada principalmente a la presencia de humedales altoandinos, histosoles y comunidades vegetales especializadas que favorecen la acumulación de agua en las cabeceras de cuenca (Lazo et al., 2019). Sin embargo, actividades como la expansión de la frontera agrícola, el sobrepastoreo o la alteración de humedales pueden disminuir significativamente esta capacidad de regulación. Como consecuencia, se incrementa la escorrentía superficial, disminuye la infiltración y se reduce el aporte de agua subterránea que sostiene los caudales durante las épocas secas. Estas alteraciones pueden comprometer la disponibilidad hídrica para las poblaciones que dependen de estos ecosistemas, como ocurre en el Área de Protección Hídrica de Cruz de Ventanas, donde la conservación del páramo resulta fundamental para garantizar la provisión continua de servicios ecosistémicos hidrológicos.

2.3.7 Cambio Climático en los Andes y escenarios climáticos

El cambio climático se ha convertido en uno de los retos ambientales más importantes de nuestro tiempo, ya que sus efectos se reflejan directamente en los ecosistemas, en la

disponibilidad de agua y en la calidad de vida de las personas. Las zonas de montaña son especialmente vulnerables a estos cambios, porque incluso variaciones pequeñas en la temperatura o en las lluvias provocan alteraciones notables en los procesos naturales. De acuerdo con el sexto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en estas regiones ya se han observado impactos cada vez más evidentes, como el aumento de la temperatura, cambios en los regímenes hídricos y una mayor frecuencia de eventos extremos, lo que incrementa la vulnerabilidad tanto de los ecosistemas como de las comunidades que dependen de ellos (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2022).

En el caso de los Andes tropicales, diferentes investigaciones han mostrado que la temperatura ha ido aumentando de manera sostenida en las últimas décadas, junto con cambios en la forma en que se distribuyen las lluvias a lo largo del tiempo y del territorio. Según (Vuille, 2013), estas variaciones influyen directamente en el funcionamiento del sistema hídrico de los ecosistemas altoandinos, afectando la forma en que el agua se almacena, se regula y se distribuye. Además, el incremento de la temperatura contribuye a la reducción de los glaciares y modifica el comportamiento de humedales y páramos, que son fundamentales para garantizar el suministro hídrico de millones de personas.

Los ecosistemas de páramo son particularmente vulnerables a los cambios en el clima, ya que su equilibrio depende en gran medida de la disponibilidad de agua. Variaciones en la cantidad de lluvia, en la humedad del suelo o en la frecuencia de sequías pueden alterar la vegetación, afectando tanto su estructura como su composición. Esto disminuye la capacidad del páramo para regular el ciclo del agua y sostener los servicios ecosistémicos que brinda. Las investigaciones evidencian que el aumento de temperatura y los cambios de precipitación

generan condiciones de estrés hídrico con un impacto negativo en la regulación ecosistémica (Vuille, 2013).

Para proyectar estas alteraciones, los escenarios climáticos son herramientas fundamentales que permiten entender cómo podrían cambiar las condiciones del clima según los distintos niveles de emisión de gases de efecto invernadero. El escenario SSP2-4.5 plantea una trayectoria intermedia, en la que las emisiones siguen aumentando de manera moderada hasta estabilizarse. En cambio, el escenario SSP5-8.5 describe un contexto de emisiones altas, asociado al uso intensivo de combustibles fósiles. Las proyecciones para la región andina indican que, en ambos escenarios, es probable que continúe el aumento de la temperatura y se presenten cambios en los patrones de precipitación, siendo más marcados bajo el SSP5-8.5. Analizar estos escenarios climáticos resulta clave para anticipar las condiciones ambientales futuras, reconocer las áreas más vulnerables y orientar acciones de adaptación y conservación en ecosistemas estratégicos como el APH Cruz de Ventanas (Vuille, 2013).

2.3.8 Amenazas, presiones y vulnerabilidades ante el cambio climático

Los ecosistemas de páramo son considerados altamente sensibles frente a los efectos del cambio climático, principalmente por su localización en alta montaña y su fuerte dependencia hídrica. El aumento de la temperatura, las variaciones en la precipitación y los eventos extremos pueden modificar su estructura y funcionamiento, comprometiendo los servicios ecosistémicos para las comunidades andinas. Entre las amenazas climáticas destacan la disminución de disponibilidad de agua, sequías prolongadas y variaciones temporales en las lluvias, las cuales alteran procesos clave como la infiltración y el

almacenamiento natural del agua (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2022).

A estas condiciones se suman presiones antrópicas, como la expansión agrícola, el sobrepastoreo y las quemas, que reducen la capacidad del ecosistema para retener agua y aceleran su degradación. La vulnerabilidad climática refleja el nivel en el que un ecosistema está expuesto a las variaciones del clima y su capacidad para adaptarse o recuperarse. Según el (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2022), cuando las alteraciones climáticas superan la capacidad de soporte del ecosistema, aumentan los impactos negativos en su funcionamiento. Por esta razón, el monitoreo de las variables climáticas junto con los indicadores ecológicos es fundamental para anticipar y comprender cómo responderá la cobertura vegetal y la regulación hídrica ante futuros escenarios de cambio climático.

En los páramos ecuatorianos, los cambios de cobertura y uso del suelo han estado relacionados históricamente con actividades agrícolas y ganaderas. Estudios realizados en el páramo del centro-sur del Ecuador muestran que durante las últimas décadas se han producido transiciones entre áreas de páramo, agricultura y otras coberturas, evidenciando que las decisiones relacionadas con el uso del territorio pueden modificar la estructura y distribución del ecosistema (Ross et al., 2017). Asimismo, investigaciones sobre el manejo del fuego en el páramo andino han señalado que las quemas, el pastoreo intensivo y la transformación de la cobertura natural pueden alterar procesos relacionados con el balance hídrico del ecosistema.

La exposición se refiere a la presencia de elementos naturales o sociales que podrían verse afectados por una determinada amenaza. En el caso de un área de protección hídrica, pueden considerarse expuestos los ecosistemas de páramo, las fuentes y sistemas hídricos,

las especies y la cobertura vegetal, así como las poblaciones y actividades que dependen de los servicios proporcionados por estos ecosistemas. El IPCC incluye dentro de los elementos expuestos a las especies y ecosistemas, las funciones y servicios ambientales, los recursos, los medios de vida y los activos sociales, culturales y económicos ubicados en lugares susceptibles de verse afectados.

La vulnerabilidad, en cambio, se relaciona con la predisposición de un sistema a verse afectado y con su capacidad para afrontar, adaptarse o recuperarse frente a determinadas condiciones, incluye aspectos relacionados con la sensibilidad o susceptibilidad al daño y con la capacidad de respuesta y adaptación. Por esta razón, dos territorios que experimenten una amenaza climática similar pueden presentar diferentes niveles de afectación debido a sus características ambientales, sociales y económicas.

En los ecosistemas altoandinos, la dependencia de determinados servicios ecosistémicos puede incrementar la importancia de las variaciones ambientales para las comunidades. En particular, las poblaciones cuyas actividades y medios de vida dependen de recursos como el agua y el suelo pueden presentar mayor sensibilidad frente a cambios en la disponibilidad de estos recursos. El IPCC identifica precisamente la dependencia de servicios ecosistémicos, como el agua y la fertilidad del suelo, como uno de los factores que puede contribuir a la vulnerabilidad de determinadas poblaciones andinas.

Para el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, esta diferenciación conceptual permite analizar las condiciones ambientales sin asumir previamente la existencia de un impacto climático determinado. En esta investigación, las variables de precipitación, temperatura y humedad del suelo permiten caracterizar las condiciones hidro climáticas, mientras que el NDVI se utiliza como indicador de la dinámica temporal de la cobertura

vegetal. El análisis conjunto de estas variables permite identificar variaciones y relaciones temporales que pueden ser contrastadas con los escenarios climáticos futuros.

En consecuencia, el estudio de las amenazas, presiones y vulnerabilidad constituye un elemento de contexto para interpretar los posibles cambios en los servicios ecosistémicos identificados en el área de estudio. No obstante, la presente investigación no desarrolla una evaluación integral del riesgo climático mediante el cálculo independiente de amenaza, exposición y vulnerabilidad. En su lugar, analiza las condiciones hidro climáticas históricas, la respuesta de la cobertura vegetal y las proyecciones climáticas futuras, con el propósito de identificar posibles implicaciones sobre los servicios ecosistémicos del páramo de Cruz de Ventanas.

2.3.9 Análisis mediante percentiles y rangos de referencia

Los percentiles constituyen estadísticos de posición que permiten describir la distribución de un conjunto de datos y establecer rangos de referencia a partir del comportamiento histórico de una variable, en esta investigación se emplean para caracterizar la variabilidad de las condiciones hidro climáticas y de la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025.

El percentil 25 (P25) corresponde al valor por debajo del cual se encuentra aproximadamente el 25 % de las observaciones, mientras que el percentil 50 (P50), equivalente a la mediana, divide la distribución en dos partes iguales; por su parte, el percentil 75 (P75) corresponde al valor por debajo del cual se encuentra aproximadamente el 75 % de las observaciones, y en conjunto, P25 y P75 delimitan el rango intercuartílico, que comprende el 50 % central de los datos (Páez-Bimos et al., 2023).

En investigaciones desarrolladas en ecosistemas altoandinos del Ecuador, los percentiles han sido empleados para diferenciar condiciones de precipitación dentro de una serie de observaciones. Páez-Bimos et al. (2023), en el Área de Conservación Hídrica Antisana, utilizaron los percentiles 25 y 75 para diferenciar períodos de precipitación baja, intermedia y alta, proporcionando un antecedente metodológico directamente relacionado con el análisis de condiciones hidro climáticas en páramos ecuatorianos.

En función de este criterio, en esta investigación los valores inferiores al P25 se interpretan como condiciones relativamente bajas respecto de la distribución histórica del área de estudio; aquellos comprendidos entre P25 y P75 corresponden al rango intermedio, mientras que los valores superiores al P75 representan condiciones relativamente altas, esta clasificación se aplica de manera independiente a cada variable, considerando sus respectivas unidades y características.

Es importante señalar que estos rangos constituyen referencias estadísticas específicas del período histórico analizado y no representan, por sí mismos, umbrales ecológicos universales ni permiten determinar automáticamente condiciones críticas, normales u óptimas. Para establecer un umbral ecológico sería necesario demostrar mediante evidencia independiente que un determinado valor ambiental está asociado con un cambio significativo en la estructura, composición o funcionamiento del ecosistema.

En consecuencia, los percentiles se utilizan en esta investigación como una herramienta de comparación entre las condiciones históricas observadas y las condiciones proyectadas bajo los escenarios SSP245 y SSP585 para el período 2021–2040, esto permitirá determinar si los valores proyectados se encuentran dentro, por debajo o por encima del rango de variabilidad histórica identificado para el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

2.3.10 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) es un indicador utilizado para caracterizar anomalías de humedad a partir de la relación entre la precipitación, la temperatura y las condiciones de disponibilidad de agua. El índice fue desarrollado por Palmer como una metodología para evaluar la duración y magnitud de los déficits anormales de humedad y facilitar la comparación temporal de las condiciones de sequía (Palmer, 1965).

El PDSI utiliza una escala en la que los valores negativos representan condiciones de sequedad, mientras que los valores positivos indican condiciones de humedad. Los valores próximos a cero corresponden a condiciones cercanas a la normalidad. La clasificación propuesta originalmente por Palmer diferencia distintos grados de sequía y humedad de acuerdo con la magnitud del índice.

Intervalo del PDSI	Clasificación
$\geq 4,00$	Extremadamente húmedo
3,00 a 3,99	Muy húmedo
2,00 a 2,99	Moderadamente húmedo
1,00 a 1,99	Ligeramente húmedo
0,50 a 0,99	Inicio de período húmedo
-0,49 a 0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Inicio de período seco
-1,00 a -1,99	Sequía leve
-2,00 a -2,99	Sequía moderada

–3,00 a –3,99

Sequía severa

$\leq -4,00$

Sequía extrema

Fuente: Adaptado de (Palmer, 1965).

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Esta clasificación permite interpretar el significado general de los valores obtenidos en la serie histórica, sin embargo, en el presente estudio se diferencia entre la clasificación estándar del PDSI y la posición estadística de los valores dentro de la distribución particular del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas; esta distinción es importante debido a que un valor determinado puede presentar simultáneamente una clasificación de sequía según Palmer y una posición específica dentro de la distribución histórica local.

El PDSI se emplea en esta investigación como un indicador complementario de las condiciones de humedad y sequedad, cuyo comportamiento se analiza conjuntamente con la precipitación, la humedad del suelo, la temperatura y el NDVI; esta integración permite caracterizar la variabilidad hidro climática histórica y posteriormente utilizarla como referencia para interpretar las posibles modificaciones de las condiciones ambientales bajo los escenarios de cambio climático.

2.3.11 Escenarios de cambio climático SSP245 y SSP585

Los escenarios de cambio climático permiten representar posibles trayectorias futuras de las condiciones climáticas en función de diferentes supuestos relacionados con la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero y las condiciones socioeconómicas. En el marco del CMIP6, estas trayectorias se representan mediante las denominadas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas o Shared Socioeconomic

Pathways (SSP), las cuales se combinan con diferentes modelos climáticos para generar proyecciones de las condiciones climáticas futuras (WorldClim, 2025)

Entre los escenarios considerados se encuentran SSP2-4.5 y SSP5-8.5; el primero representa una trayectoria de emisiones intermedias, mientras que el segundo corresponde a una trayectoria de emisiones considerablemente mayores, estos escenarios no constituyen predicciones deterministas de lo que ocurrirá en el futuro, sino representaciones de posibles condiciones climáticas asociadas con diferentes trayectorias de desarrollo y emisiones (WorldClim, 2025).

En esta investigación se utilizaron los escenarios SSP245 y SSP585 correspondientes al período 2021–2040, con el propósito de contrastar dos trayectorias climáticas diferentes y analizar la variabilidad proyectada en las condiciones ambientales del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Los datos climáticos futuros fueron obtenidos de WorldClim, que proporciona información climática futura derivada de modelos del CMIP6 y sometida a procesos de reducción de escala y corrección del sesgo, la base de datos incluye valores mensuales de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima para períodos de 20 años, entre ellos el período 2021–2040 (WorldClim, 2025).

Las variables proyectadas fueron la precipitación, la temperatura mínima y la temperatura máxima, los valores obtenidos para los escenarios SSP245 y SSP585 fueron comparados con los rangos estadísticos de referencia calculados a partir de la serie histórica 2017–2025 del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, esta comparación permite

identificar si las condiciones proyectadas se encuentran dentro, por debajo o por encima de los rangos observados históricamente.

Es importante señalar que las proyecciones climáticas representan condiciones promedio correspondientes al período de análisis y no observaciones directas de eventos futuros, por esta razón, las diferencias identificadas entre las condiciones históricas y las proyecciones se interpretan como posibles modificaciones de las condiciones climáticas del área de estudio y no como impactos ambientales determinados.

La comparación entre SSP245 y SSP585 permite, además, reconocer diferencias en la magnitud de las condiciones climáticas proyectadas; estas diferencias constituyen un elemento de referencia para analizar las posibles implicaciones que los cambios en precipitación y temperatura podrían tener sobre las condiciones hidro climáticas y la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas y, en consecuencia, sobre los servicios ecosistémicos identificados en la investigación.

2.4 Marco Legal

2.4.1 Contexto Internacional

- **Acuerdo de París**

Es un tratado internacional firmado en 2015 para combatir el cambio climático, el objetivo es limitar el incremento de la temperatura global a no más de 2 °C, preferiblemente a 1,5 °C, incluyen compromisos para mitigar y adaptarse al cambio climático, así como, apoyo financiero y tecnológico. En el ámbito de la adaptación, reconoce la importancia de salvaguardar los sistemas socio ecológicos y los servicios ecosistémicos, que promueven

enfoques basados en los ecosistemas y la gestión sostenible del territorio como medidas para reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de respuesta (Naciones Unidas, s.f.).

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

Objetivo 11.- Ciudades y comunidades sostenibles busca lograr que los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, integrando dimensiones urbanas y rurales en la planificación del desarrollo, el ODS 11 enfatiza la necesidad de proteger y salvaguardar el patrimonio natural y cultural, reducir el impacto ambiental de las ciudades y fortalecer los vínculos entre zonas urbanas y rurales mediante una planificación territorial sostenible (Organización de las Naciones Unidas, 2024).

En el caso del estudio en la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiatug, este objetivo respalda la incorporación de la conservación del páramo y de los servicios ecosistémicos hidrológicos del área de protección hídrica en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y en las estrategias locales de reducción del riesgo de desastres.

Objetivo 13.- Acción por el clima, este objetivo busca fortalecer la capacidad de las personas y sus comunidades para resistir y adaptarse a los peligros del clima. También tiene por objetivo perfeccionar la educación y la conciencia sobre el cambio climático, así como aumentar el financiamiento internacional para ayudar a los países en desarrollo a implementar medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático (Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Objetivo 15.- Vida de ecosistemas terrestres, tiene como fin proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los

bosques, combatir la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas, 2024).

- **Marco de Sendai (2015-2030)**

El Marco de Sendai es un acuerdo internacional de las Naciones Unidas para un periodo 2015-2030, que establece objetivos y acciones para reducir de forma sustancial el riesgo de desastres y las pérdidas humanas, económicas y ambientales, mediante la gestión del riesgo basada en la comprensión de la exposición, la vulnerabilidad y las amenazas, la mejora de la gobernanza, la inversión en reducción del riesgo y el fortalecimiento de la resiliencia (Naciones Unidas, 2015).

2.4.2 Contexto Nacional

- **Constitución de la República del Ecuador (2008)**

Art. 14. La Constitución establece que todos tienen derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, para el desarrollo humano, así garantizar la sostenibilidad y el buen vivir. Este artículo establece que el Estado protegerá el derecho de las personas a disfrutar de la naturaleza y de los beneficios que proporciona, incluyendo el aire, el agua y los demás elementos que soportan la vida (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

En el contexto de los páramos, este derecho implica conservar los servicios ecosistémicos hidrológicos que aseguran el abastecimiento de agua para el consumo humano y las actividades productivas de las comunidades rurales.

Art. 71. Derechos de la naturaleza este artículo reconoce a la naturaleza o Pacha Mama como sujeto de derechos y establece que tiene derecho a que se respete integralmente su existencia, mantenimiento y regeneración de su ciclo vital, estructura y funciones.

Además, faculta a cualquier persona, comunidad o pueblo a exigir a las autoridades el cumplimiento de estos derechos. Para los páramos andinos, esto significa que su funcionamiento ecológico y sus servicios ecosistémicos, como la regulación del agua y la conservación de la biodiversidad, deben ser respetados y protegidos frente a actividades que puedan degradarlos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Art. 73. Para garantizar la conservación de los recursos naturales, el Estado debe actuar de forma preventiva frente a actividades que representen una amenaza para los ecosistemas. Esto incluye evitar acciones que puedan ocasionar la desaparición de especies, el deterioro de los hábitats naturales o cambios permanentes en los ciclos que permiten el equilibrio y la continuidad de los procesos ecológicos (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Art. 389. La Constitución establece que el Estado debe proteger a las personas, a los grupos y al medio ambiente de los efectos negativos de los desastres que pueden ocurrir de manera natural o por la acción del hombre, mediante acciones de prevención del riesgo, mitigación, recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales para reducir la vulnerabilidad (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Art. 406. El Estado regulará la conservación, recuperación y manejo de ecosistemas frágiles y amenazados, entre los que se mencionan expresamente los páramos, bosques nublados y humedales. Se prohíbe la expansión de la frontera agrícola y cualquier actividad que pueda causar su degradación, salvo en los casos autorizados por la ley bajo criterios de sostenibilidad (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

2.4.3 Acuerdo Ministerial

- **Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIRD)**

Desarrolla el mandato constitucional de protección frente a los riesgos, definiendo principios, competencias e instrumentos para la gestión integral del riesgo en todo el territorio nacional.

Art. 21. Establece que la gestión integral del riesgo a nivel local se realizará en reconocimiento de la rectoría del gobierno central y de la autonomía de los gobiernos autónomos descentralizados, quienes tienen la responsabilidad directa de regular, coordinar y dirigir la gestión de riesgos en su ámbito territorial, aplicando el principio de descentralización subsidiaria (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

Art. 47. Obliga a todas las entidades del sector público a incorporar de manera explícita y transversal la gestión integral del riesgo en sus instrumentos de planificación, mientras que el artículo 48 define instrumentos como la Política Nacional, el Plan Nacional de Reducción del Riesgo y los planes locales de gestión integral de riesgos, que deben considerar los procesos de conservación de ecosistemas estratégicos para la reducción del riesgo (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

- **Código Orgánico del Ambiente (2016)**

Art. 1. Objeto. El Código Orgánico del Ambiente busca garantizar que las personas vivan en un ambiente sano, proteger la naturaleza para que podamos vivir bien. Esto se llama *sumak kawsay* o buen vivir (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

Art. 9. El bienestar social y la igualdad constituyen la base para todas las decisiones y actividades públicas y privadas relacionadas con la conservación, uso y manejo sostenible del ambiente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

Art. 82. De los servicios ambientales establece fomentar la conservación, protección, preservación, manejo sostenible y restauración de los ecosistemas, implementando mecanismos que garanticen su continuidad en el tiempo (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017).

2.4.4 Contexto Local

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Simiatug. - incorpora lineamientos nacionales de planificación, gestión del riesgo de desastres y conservación ambiental, promoviendo así la protección de los ecosistemas de páramo y los servicios ecosistémicos relacionados con el agua, fundamentales para asegurar la seguridad hídrica de la parroquia Simiatug (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Simiátug, 2024).

Plan Técnico de Manejo del Área de Protección Hídrica Simiatug. – Garantiza la conservación, protección, restauración y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y de los ecosistemas relacionados en la zona de protección hídrica de Simiatug. Promueve la mejora en la calidad y disponibilidad del agua, beneficiando directamente el bienestar de la comunidad Cruz de Ventanas a través de la planificación, ejecución y seguimiento de estrategias de gestión (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar, 2025).

2.5 Marco Conceptual

Adaptabilidad: es la capacidad de los sistemas sociales y ecológicos para ajustarse a amenazas reales o esperadas, aprovechar oportunidades o responder a sus consecuencias, reduciendo los daños potenciales asociados al cambio climático (IPCC, 2022).

Amenaza: es un proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar daños, interrupción de servicios esenciales o alteración de medios de vida cuando interactúa con condiciones de exposición y vulnerabilidad (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Amenaza natural: es un peligro de origen físico ambiental, con potencial de causar pérdidas humanas, daños materiales o degradación ambiental (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Amenaza antrópica: es una amenaza generada directa o indirectamente por decisiones y actividades humanas, como cambios de uso de suelo, sobrepastoreo, quemas o expansión agrícola en ecosistemas frágiles (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

Páramo andino: ecosistema de alta montaña localizado principalmente por encima del límite superior del bosque andino, caracterizado por condiciones climáticas particulares y por formaciones vegetales adaptadas a ambientes de elevada altitud. Estos ecosistemas cumplen funciones esenciales en la regulación hídrica, el almacenamiento de agua, la conservación del suelo y la provisión de diversos servicios ecosistémicos para las poblaciones andinas. (Naturaleza y Cultura Internacional, 2025).

Cambio climático: es la combinación de la probabilidad de ocurrencia de amenazas relacionadas con el clima con la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales, que puede traducirse en impactos adversos sobre el bienestar y los ecosistemas (IPCC, 2022).

Servicios ecosistémicos: son los beneficios directos e indirectos que las personas obtienen del funcionamiento de los ecosistemas, agrupados en servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Vulnerabilidad: Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2018).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo aplicada, con alcance descriptivo y relacional, debido a que estuvo orientada a generar información útil para comprender el estado y la importancia de los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, y analizar su comportamiento frente a diferentes condiciones ambientales. El componente descriptivo permitió identificar y caracterizar los servicios ecosistémicos presentes en el páramo, así como conocer la valoración social, ambiental, económica y cultural atribuida por los habitantes de la comunidad.

A su vez, el componente relacional se incorporó en el análisis de las variables hidroclimáticas y la respuesta de la cobertura vegetal, con el propósito de examinar la asociación entre la precipitación, la humedad del suelo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), sin asumir que las variaciones observadas respondieran exclusivamente a una relación causal directa.

El análisis se desarrolló bajo un diseño no experimental, puesto que las variables no fueron manipuladas deliberadamente, sino analizadas a partir de las condiciones observadas en el territorio y de la información obtenida mediante trabajo de campo, encuestas, registros históricos, imágenes satelitales y bases de datos climáticos. Este diseño permitió integrar información procedente de distintas escalas temporales y fuentes para estudiar los servicios

ecosistémicos y las condiciones ambientales del área sin intervenir sobre el funcionamiento natural del ecosistema.

3.2 Enfoque de la Investigación

3.2.1 Enfoque mixto

(Hernández Sampieri et al., 2014) señalan que el enfoque mixto integra de manera intencional los enfoques cualitativo y cuantitativo en un mismo estudio, con énfasis en el aprovechamiento de las fortalezas de cada enfoque y en la compensación de sus respectivas limitaciones. La combinación de ambos enfoques presenta posibilidades de integración en diferentes momentos del proceso investigativo, entre ellos, el diseño de instrumentos, la recopilación de información y la interpretación de resultados, con orientación hacia una comprensión integral del problema de investigación, la integración de la información cualitativa y cuantitativa constituye un recurso para la obtención de un diagnóstico integral, con solidez técnica y pertinencia social para la población de estudio.

El componente cualitativo se desarrolló mediante la revisión documental y la observación directa del área de estudio, procedimientos que permitieron identificar y caracterizar los principales servicios ecosistémicos asociados al páramo de Cruz de Ventanas, así como reconocer las características observables de conservación y las formas de uso presentes en el territorio. Este componente también permitió contextualizar la información obtenida de la población respecto a los beneficios, significados y prácticas relacionadas con el ecosistema.

El componente cuantitativo comprendió, por una parte, el procesamiento de las encuestas aplicadas a los jefes de hogar de la comunidad, mediante las cuales se analizaron

las dimensiones sociales, ambientales, económica y cultural de la valoración de los servicios ecosistémicos. Dentro de la dimensión económica se incorporó el método de valoración contingente para estimar la disposición a pagar por acciones orientadas a la conservación hídrica, por otra parte, se analizaron las condiciones biofísicas del ecosistema mediante series históricas de precipitación, humedad del suelo, PDSI, temperatura y NDVI. Complementadas con el análisis de escenarios climáticos futuros.

La integración de ambos componentes se realizó considerando que la valoración de los servicios ecosistémicos no se limita a su expresión monetaria, sino que comprende diferentes dimensiones mediante las cuales se reconoce su importancia para la población y el territorio. En este sentido, la dimensión social permitió analizar la importancia y los beneficios atribuidos al páramo; la dimensión ambiental incorporó tanto la percepción comunitaria sobre su conservación como la información biofísica del ecosistema; la dimensión económica consideró la relación de los servicios ecosistémicos con las actividades familiares y la disposición económica para contribuir a su conservación; mientras que la dimensión cultural permitió reconocer significados, prácticas y conocimientos asociados al páramo. De manera complementaria, el análisis hidroclimático y de la cobertura vegetal permitió examinar las condiciones ambientales bajo las cuales estos servicios podrían experimentar alteración, particularmente aquellos vinculados a la provisión y regulación hídrica.

3.3 Método de la investigación

3.3.1 Método Deductivo

El método deductivo permitió orientar el análisis desde fundamentos generales relacionados con los servicios ecosistémicos, la valoración integral, el funcionamiento de los ecosistemas de páramo y su respuesta frente a la variabilidad climática, hasta su aplicación en las condiciones particulares del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas. De acuerdo con (Bernal Torres, 2016), este método parte de principios y conocimientos generales para examinar situaciones específicas, permitiendo contrastar los fundamentos teóricos con la realidad observada en el objeto de estudio.

El razonamiento deductivo se aplicó inicialmente en la identificación y caracterización de los servicios ecosistémicos, tomando como referencia las categorías y criterios establecidos en la literatura especializada. Posteriormente, permitió analizar las dimensiones social, ambiental, económica y cultural mediante indicadores definitivos previamente en la operacionalización de las variables y aplicados a las condiciones particulares de la comunidad Cruz de Ventanas.

Para el componente biofísico, este método permitió partir de los fundamentos teóricos sobre la relación entre disponibilidad hídrica, condiciones de sequía y respuesta de la vegetación para analizar el comportamiento observado en las series históricas de precipitación, humedad del suelo, PDSI y NDVI; esta información se complementó con el análisis de las temperaturas mínima y máxima y con la comparación de las condiciones históricas frente a las proyecciones climáticas SSP245 y SSP585. La interpretación se realizó considerando las asociaciones y coincidencias temporales observadas entre las variables, sin atribuir relaciones causales que no hubieran sido demostradas mediante el diseño de la investigación.

3.4 Periodo de tiempo:

La investigación integró diferentes períodos temporales de acuerdo con la naturaleza y procedencia de la información recopilada; para el componente social, ambiental, económico y cultural se trabajó con información de corte transversal, debido a que los datos primarios fueron obtenidos mediante encuestas aplicadas a los jefes de hogar de la comunidad Cruz de Ventanas durante el período de la investigación en 2026. Esta información permitió conocer las percepciones y valores de la población en un momento determinado, sin realizar un seguimiento temporal de los participantes.

Para el componente biofísico se empleó información histórica correspondiente al periodo 2017 – 2025, conformada por registros de variables hidro climáticas e información satelital relacionada con la cobertura vegetal, además de información proporcionada de la 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*”. Esta escala temporal permitió disponer de antecedentes sobre las condiciones ambientales registradas en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante los años considerados en el estudio.

De manera complementaria, la investigación incorporó información climática proyectada para el período 2021 – 2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585; este componente permitió disponer de información sobre posibles condiciones climáticas futuras para su posterior contraste con las condiciones históricas del área de estudio, en consecuencia, la investigación articuló información transversal obtenida durante 2026, información histórica correspondiente a 2017 – 2025 y proyecciones climáticas para el 2021 – 2040.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recopilación de datos

Para el desarrollo de la investigación se emplearon diferentes técnicas e instrumentos de recopilación de datos, seleccionados de acuerdo con la naturaleza de la información requerida para la valoración de los servicios ecosistémicos y la caracterización de las condiciones ambientales del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas; la información primaria se obtuvo mediante observación directa y encuestas aplicadas a la población de estudio, mientras que la información secundaria procedió de fuentes documentales, bases de datos hidro climáticos, información satelital y proyecciones climáticas.

La utilización conjunta de estas fuentes permitió disponer de información social, ambiental, económica, cultural y biofísica necesario para el cumplimiento de los objetivos planteados; las técnicas e instrumentos utilizados para su recopilación se describen a continuación.

3.5.1 *Revisión documental y observación de campo*

La revisión documental se empleó para recopilar información científica, técnica, normativa y territorial relacionada con los servicios ecosistémicos, las características de los ecosistemas de páramo y las condiciones particulares del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas; para ello se consultaron artículos científicos, trabajos académicos, documentos institucionales, instrumentos de planificación territorial, normativa ambiental y fuentes oficiales relacionadas con la conservación y gestión de los recursos naturales. Esta información sirvió como sustento documental para reconocer los servicios ecosistémicos reportados para este tipo de ecosistema y contextualizarlos de acuerdo con las características del área de estudio.

De manera complementaria, se empleó la observación directa mediante visitas de campo al área; durante los recorridos se registraron las características observables del ecosistema, las especies de flora y fauna identificadas, las condiciones de conservación y las principales formas de uso reconocidas en el territorio, esta información permitió contar con evidencia directa de las condiciones existentes en el páramo y complementar los datos provenientes de la revisión documental.

Como instrumentos para la recopilación de información en campo se utilizaron fichas de observación, cuaderno de campo y registro fotográfico, lo que permitió documentar de manera organizada las características observadas durante la visita y conservar evidencia de los elementos naturales y de las condiciones presentes en el área de investigación.

De manera complementaria, para la caracterización del servicio ecosistémico hídrico se incorporó información secundaria proveniente de la investigación desarrollada por (Nicolalde & Paredes, 2026), vinculada al mismo proyecto de investigación en la comunidad Cruz de Ventanas. De esta fuente se utilizaron los registros correspondientes al monitoreo de las fuentes de agua, que incluyeron información sobre área, volumen y caudal en diferentes fechas de observación. Estos datos fueron empleados como información complementaria para caracterizar el componente hídrico del área de estudio y no corresponden a mediciones realizadas directamente por las autoras de la presente investigación.

3.5.2 Encuesta

La encuesta se utilizó como técnica de recopilación de información primaria para conocer la valoración que los habitantes de la comunidad Cruz de Ventanas atribuyen a los servicios ecosistémicos proporcionados por el páramo, la encuesta estuvo dirigida a los jefes

de hogar de la comunidad, debido a su relación directa con el territorio y con los beneficios derivados del Área de Protección Hídrica.

Como instrumento se empleó un cuestionario estructurado en el Anexo 2, conformado por preguntas cerradas, selección múltiple, escalas de valoración y preguntas relaciones con valores monetarios. Su estructura contempló las dimensiones sociales, ambiental, económica y cultural, de acuerdo con los componentes considerados en la valoración integral de los servicios ecosistémicos dentro de la investigación.

La dimensión social recopiló información relacionada con la importancia que los habitantes atribuyen al páramo, los beneficios que reconocen y su disposición a para participar en actividades comunitarias de conservación; la dimensión ambiental incluyó aspectos relaciones con la percepción sobre el estado de conservación del ecosistema, los cambios observados en los últimos años, el conocimiento de instrumentos o políticas de manejo y la percepción de eventos climáticos como sequías, precipitaciones intensas y temperaturas mínimas; en la dimensión económica se analizó la relación del páramo con las actividades productivas familiares, el pago por el servicio de agua, la disposición a realizar aportes económicos para la protección hídrica y las formas de apoyo consideradas adecuadas para participar en acciones de conservación.. Finalmente, la dimensión cultural recopiló información relacionada con el significado cultural y espiritual del páramo, las prácticas y conocimientos ancestrales vinculados con su cuidado y la relación entre la protección del Área de Protección hídrica y la conservación de las costumbres tradicionales comunitarias.

3.5.3 Recopilación de información hidroclimático y de la cobertura vegetal

Para disponer de información sobre las condiciones ambientales históricas del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas se recopilieron datos hidroclimático correspondientes al período 2017 – 2025; los registros fueron obtenidos de la base de datos de TerraClimate e incluyeron variables de precipitación, humedad del suelo, Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), temperatura mínima y temperatura máxima. La información disponible para estas variables constituyó la fuente secundaria utilizada para representar las condiciones hidro climáticas históricas del área de investigación.

La información correspondiente a la cobertura vegetal de Cruz de Ventanas también procedió de una fuente secundaria generada dentro del mismo proyecto de investigación. Para este componente se dispuso de una base de datos en formato de hoja de cálculo de Microsoft Excel, proveniente de la investigación desarrollada por Gómez Pozo y Martínez Espín, titulada *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*. La base fue proporcionada en formato de hoja de cálculo de Microsoft Excel y contiene registros del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), derivados de imágenes satelitales Sentinel-2, correspondientes a 142 fechas disponibles entre 2017 y 2025. Esta información constituyó la fuente secundaria utilizada para disponer de una serie temporal de la cobertura vegetal del área de estudio.

Adicionalmente, se recopiló información satelital de otros ecosistemas de páramo seleccionados como áreas de referencia para la comparación con Cruz de Ventanas. Para ello se recurrió a imágenes Sentinel-2 disponibles mediante Google Earth Engine, considerando información espectral correspondiente a las áreas seleccionadas. Entre los datos requeridos se contemplaron las bandas B8, correspondiente al infrarrojo cercano, y

B4, correspondiente a la región roja del espectro electromagnético, necesarias para la obtención posterior del NDVI. La selección de estos ecosistemas permitió disponer de información de referencia para contrastar posteriormente el comportamiento de la cobertura vegetal observado en Cruz de Ventanas con otros páramos.

3.5.4 Recopilación de información climática proyectada

Para incorporar información sobre posibles condiciones climáticas futuras se recopilaron proyecciones disponibles en WorldClim v2.1 correspondientes al período 2021–2040. Se consideró la información generada mediante el modelo climático global MRI-ESM2-0 bajo los escenarios SSP245 y SSP585, seleccionándose las variables de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima por su relación con las condiciones ambientales analizadas en el área de estudio.

La información climática proyectada se obtuvo en formato ráster y comprendió datos correspondientes a los doce meses del año para cada una de las variables y escenarios considerados; estos archivos constituyeron la fuente de información secundaria empleada para representar las condiciones climáticas proyectadas sobre el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas y disponer de una base para su posterior contraste con la información histórica.

Los escenarios SSP245 y SSP585 fueron considerados como fuentes de información climática prospectiva que representan diferentes trayectorias futuras, su incorporación permitió contar con dos escenarios contrastantes para el posterior análisis de las posibles variaciones en las condiciones climáticas del área de estudio, sin asumir estas proyecciones como predicciones exactas de las condiciones que necesariamente ocurrirán en el territorio.

3.6 Universo, Población y Muestra

El universo de estudio estuvo conformado por la totalidad de los jefes de hogar de la comunidad de Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, identificándose un total de 28 jefes de hogar. Debido a que se trata de una población pequeña y accesible, se consideró la totalidad de sus integrantes para el levantamiento de información, por lo que no fue necesario realizar un cálculo estadístico de muestra. En consecuencia, se aplicaron 28 encuestas, correspondientes al 100 % de la población identificada.

3.7 Técnica de análisis y procesamiento de la información

3.7.1 Sistematización y clasificación de los servicios ecosistémicos

La información obtenida mediante la revisión documental y la observación directa de campo fue revisada, organizada y sistematizada en matrices de información. Para cada registro se consideraron las características observadas del ecosistema, las especies de flora y fauna identificadas, los recursos naturales asociados, las principales formas de uso reconocidas y los beneficios ecosistémicos relacionados con estos elementos. La información documental fue utilizada como complemento de los registros de campo, permitiendo contrastar las observaciones realizadas con antecedentes científicos y técnicos relacionados con los ecosistemas de páramo.

Los servicios ecosistémicos identificados fueron posteriormente clasificados de acuerdo con las categorías adoptadas en la investigación: provisión, regulación, soporte y culturales. A partir de esta clasificación se estableció la correspondencia entre los componentes naturales observados en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, los

beneficios que proporcionan y las formas de aprovechamiento o valoración reconocidas en el territorio.

La información sistematizada fue presentada mediante tablas descriptivas, matrices de relación y registros fotográficos, con el propósito de facilitar la interpretación de los servicios ecosistémicos identificados y de las condiciones observables relacionadas con su estado de conservación.

3.7.2 Procesamiento de la valoración social, ambiental, económica y cultural

La información obtenida mediante las encuestas fue revisada, codificada y organizada en una base de datos en Microsoft Excel. Las respuestas fueron agrupadas de acuerdo con las cuatro dimensiones consideradas en la investigación: social, ambiental, económica y cultural. Para las preguntas cerradas y de selección múltiple se empleó estadística descriptiva mediante el cálculo de frecuencias absolutas, frecuencias relativas y porcentajes, mientras que las respuestas obtenidas mediante escalas de valoración fueron organizadas de acuerdo con las categorías establecidas en el cuestionario.

La dimensión social fue analizada a partir de las respuestas relacionadas con la importancia atribuida al páramo, los beneficios reconocidos por los habitantes y la disposición para participar en actividades comunitarias de conservación. La dimensión ambiental consideró la percepción sobre el estado de conservación del ecosistema, los cambios observados durante los últimos años, el conocimiento de instrumentos de manejo y la percepción comunitaria frente a eventos climáticos como sequías, precipitaciones intensas y temperaturas mínimas. Estos resultados permitieron reconocer la manera en que

la población percibe las condiciones ambientales del páramo y los beneficios asociados a su conservación.

Para la dimensión económica se analizaron las actividades familiares relacionadas con los servicios ecosistémicos, el pago realizado por el servicio de agua y la disposición a efectuar un aporte económico destinado a acciones de conservación hídrica. La disposición a pagar fue abordada mediante el método de valoración contingente, considerando el escenario hipotético planteado en el cuestionario y los intervalos monetarios seleccionados por los participantes. De manera complementaria, se examinaron las respuestas relacionadas con la compensación económica ante un posible deterioro del páramo y las formas de contribución que los habitantes estarían dispuestos a realizar para apoyar su conservación.

La dimensión cultural fue analizada a partir de las respuestas relacionadas con el significado cultural, espiritual e identitario atribuido al páramo, así como con las prácticas, conocimientos y tradiciones vinculadas con su conservación. Estas respuestas permitieron reconocer valores que no poseen necesariamente una expresión monetaria, pero que forman parte de la importancia que la comunidad atribuye al ecosistema y a los servicios que este proporciona.

La valoración de los servicios ecosistémicos se realizó mediante una interpretación integrada de las cuatro dimensiones, sin construir un índice único ni asignar una equivalencia numérica entre ellas. De esta manera, los resultados sociales, ambientales, económicos y culturales fueron analizados de forma complementaria, reconociendo que cada dimensión representa una forma diferente de expresar la importancia de los servicios ecosistémicos para la comunidad. La valoración económica aportó una aproximación

monetaria mediante la disposición a pagar, mientras que las dimensiones social, ambiental y cultural permitieron incorporar percepciones, beneficios reconocidos y valores no monetarios asociados al páramo.

3.7.3 Procesamiento de la información hidro climática y de la cobertura vegetal

3.7.3.1 Organización y preparación de las series históricas

La información histórica utilizada para el análisis biofísico fue organizada de acuerdo con su procedencia, temporalidad y variable de estudio. En primer lugar, los registros hidro climáticos obtenidos de TerraClimate para el período 2017–2025 fueron estructurados en series temporales correspondientes a precipitación, humedad del suelo, Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), temperatura mínima y temperatura máxima. Durante esta etapa se verificó la correspondencia de las fechas, las unidades de medida y la continuidad temporal de los registros, con el propósito de mantener una estructura homogénea para su posterior tratamiento estadístico.

De manera independiente, se organizó la información histórica del NDVI correspondiente al Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas; para este componente se utilizó la base secundaria generada dentro del mismo proyecto de investigación por Gómez Pozo y Martínez Espín, la cual contiene registros derivados de imágenes Sentinel-2 para 142 fechas disponibles entre 2017 y 2025. Los registros fueron ordenados cronológicamente y revisados para identificar posibles fechas duplicadas, datos ausentes o inconsistencias en la estructura de la base antes de integrarlos con la información hidro climática.

Debido a que los registros hidro climáticos de TerraClimate presentan una resolución temporal mensual, mientras que la información de NDVI procede de fechas específicas de adquisición de imágenes satelitales, ambas fuentes conservaron inicialmente su estructura temporal original. La correspondencia entre ellas se estableció posteriormente durante la integración de las variables, evitando asumir que las 142 observaciones de NDVI equivalían a una serie mensual continua; esta diferenciación permitió preservar las características temporales propias de cada fuente de información antes de realizar las comparaciones correspondientes.

3.7.3.2 Procesamiento y cálculo del NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se utilizó como indicador de la respuesta espectral de la cobertura vegetal. Para el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas no se realizó nuevamente el cálculo original del índice a partir de las imágenes satelitales, debido a que se trabajó con la base secundaria descrita previamente, que contenía los registros de NDVI correspondientes a 142 fechas del período 2017–2025.

De manera complementaria, para obtener información comparable de otros ecosistemas de páramo se utilizaron imágenes Sentinel-2 disponibles mediante Google Earth Engine. Para el cálculo del NDVI se emplearon la banda B8, correspondiente al infrarrojo cercano (NIR), y la banda B4, correspondiente al rojo (RED), aplicando la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

El índice resultante presenta valores comprendidos teóricamente entre -1 y 1 , donde los valores positivos representan una mayor respuesta asociada con la presencia de vegetación fotosintéticamente activa, mientras que los valores cercanos a cero o negativos pueden relacionarse con superficies con escasa vegetación, suelo descubierto, agua u otras coberturas. No obstante, la interpretación del NDVI en esta investigación no se realizó mediante una clasificación general aplicada de forma automática, debido a que la respuesta espectral puede variar según el tipo y estructura de la cobertura vegetal, las condiciones de humedad, la proporción de suelo expuesto y las características propias del ecosistema de páramo.

Los valores obtenidos para los ecosistemas seleccionados como referencia fueron posteriormente utilizados para realizar una comparación con el comportamiento registrado en Cruz de Ventanas. Este procedimiento tuvo un carácter comparativo y no implicó asumir que un mismo valor de NDVI representara necesariamente una condición ecológica idéntica en todos los páramos considerados.

3.7.3.3 Determinación de rangos estadísticos de referencia

Para caracterizar la variabilidad histórica de las condiciones ambientales del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas se calcularon estadísticos descriptivos para las variables hidro climáticas y para el NDVI. Se consideraron la media, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75), obtenidos a partir de las series correspondientes al período 2017–2025; estos estadísticos permitieron describir la distribución de los registros y establecer rangos de referencia propios del comportamiento histórico del área de estudio.

Los percentiles P25 y P75 fueron utilizados como límites estadísticos internos de la distribución, los registros inferiores al P25 se consideraron relativamente bajos respecto al comportamiento histórico de cada variable; los comprendidos entre P25 y P75 conformaron el intervalo histórico intermedio; y aquellos superiores al P75 se consideraron relativamente altos. Esta clasificación permitió reconocer la posición de cada observación dentro de la variabilidad registrada durante el período analizado, sin atribuir inicialmente a estos límites una condición ecológica específica.

Para el NDVI, el cálculo realizado sobre la serie histórica disponible estableció un P25 de 0,44 y un P75 de 0,55. En consecuencia, los valores inferiores a 0,44 fueron clasificados como históricamente bajos, los comprendidos entre 0,44 y 0,55 como históricamente intermedios y los superiores a 0,55 como históricamente altos; estas categorías fueron utilizadas exclusivamente como referencias estadísticas internas del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas y no como umbrales universales de degradación, estrés o buen estado de la vegetación.

Debido a que un percentil expresa la posición relativa de los datos dentro de una distribución y no necesariamente un cambio en el funcionamiento ecológico de la vegetación, la interpretación ambiental de los rangos de NDVI se complementó posteriormente mediante su contraste con las características de las formaciones vegetales dominantes identificadas en campo y con antecedentes científicos desarrollados en ecosistemas de páramo comparables.

3.7.3.4 Sustentación ecológica e interpretación de los rangos de NDVI

La interpretación ecológica de los rangos estadísticos del NDVI consideró las características de la vegetación identificada durante el levantamiento de campo y

antecedentes científicos desarrollados en ecosistemas de páramo ecuatoriano. Esta diferenciación fue necesaria debido a que los valores obtenidos mediante P25 y P75 representan límites estadísticos internos de la serie histórica, pero no constituyen por sí mismos umbrales fisiológicos o ecológicos de las especies presentes en el área de estudio.

En Cruz de Ventanas se identificó al pajonal como una de las formaciones vegetales predominantes, destacándose *Calamagrostis intermedia* como especie dominante y estructural, junto con otras gramíneas de páramo como *Calamagrostis steyermarkii*. También se registraron formaciones de almohadilla representadas por especies como *Azorella pedunculata*. Esta composición resulta consistente con la estructura descrita para diferentes páramos ecuatorianos. Villarreal-Veloz y Zapata-Ríos (2023), en un análisis de 18 años de NDVI realizado en diez áreas de páramo de los Andes ecuatorianos, señalan que los pajonales se encuentran dominados principalmente por géneros como *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*, mientras que en las formaciones de almohadilla pueden encontrarse especies como *Azorella pedunculata*.

No obstante, no se asignó un valor único de NDVI a cada especie, debido a que el índice obtenido mediante sensores satelitales representa la respuesta espectral integrada de la cobertura contenida dentro de cada píxel y puede estar influenciado por la densidad y estructura de la vegetación, la humedad, la presencia de material vegetal seco, el suelo expuesto y la coexistencia de diferentes especies. Por esta razón, los antecedentes bibliográficos fueron utilizados como referencias de comportamiento de las formaciones vegetales de páramo y no como umbrales fisiológicos absolutos de *Calamagrostis intermedia*, *Calamagrostis steyermarkii* o *Azorella pedunculata*.

Como referencia externa para la interpretación del índice, Vasco Lucio et al. (2023), en un estudio desarrollado en el páramo de la microcuenca del río Cebadas, provincia de Chimborazo, identificaron valores de NDVI superiores a 0,5 asociados con vegetación de páramo en buen estado. Este antecedente proporciona un criterio comparativo de interés para Cruz de Ventanas, debido a que el límite estadístico superior obtenido en la presente investigación fue $P75 = 0,551$. La proximidad entre ambos valores aporta consistencia a la interpretación de los registros superiores a 0,551 como condiciones de mayor respuesta espectral de la cobertura vegetal; sin embargo, esta coincidencia no fue utilizada para convertir el P75 en un umbral ecológico universal.

En consecuencia, la interpretación del NDVI se realizó mediante la integración de dos niveles de referencia. El primero correspondió a la variabilidad histórica propia de Cruz de Ventanas, representada mediante P25 y P75, mientras que el segundo correspondió al contraste ecológico con las características de la vegetación dominante y con antecedentes obtenidos en otros páramos ecuatorianos. Bajo este enfoque, los valores inferiores a 0,443 fueron interpretados como respuestas espectrales históricamente bajas que requieren ser examinadas conjuntamente con las condiciones hidro climáticas registradas en la misma fecha, mientras que los valores superiores a 0,551 representaron respuestas históricamente altas cuya interpretación resulta consistente con valores de NDVI asociados en otros estudios ecuatorianos con coberturas de páramo en mejores condiciones de verdor. De esta manera, la identificación de posibles condiciones de estrés de la vegetación no dependió exclusivamente de un valor de NDVI, sino de su comportamiento histórico y de su relación con las condiciones ambientales concurrentes.

3.7.3.5 Integración de las variables hidro climáticas y del NDVI

Una vez organizadas las series históricas, se integraron los registros de NDVI con las variables hidro climáticas de precipitación, humedad del suelo, PDSI, temperatura mínima y temperatura máxima, con el propósito de examinar conjuntamente las condiciones ambientales y la respuesta de la cobertura vegetal durante el período 2017–2025. Debido a que la información hidro climática de TerraClimate presenta una resolución temporal mensual y los registros de NDVI corresponden a fechas específicas de adquisición de imágenes satelitales, la correspondencia temporal se realizó asignando a cada registro de NDVI los valores hidro climáticos correspondientes al mes y año en el que fue registrada la imagen.

Posteriormente, la información integrada fue organizada en una matriz temporal que permitió relacionar cada registro disponible de NDVI con las condiciones hidro climáticas correspondientes. Para su interpretación se consideraron los rangos estadísticos de referencia establecidos previamente mediante los percentiles P25 y P75, tanto para las variables ambientales como para el NDVI. A partir de esta información se identificaron fechas representativas en las que se presentaron diferentes combinaciones de disponibilidad hídrica, condiciones de sequía, temperatura y respuesta espectral de la cobertura vegetal.

La interpretación se realizó considerando principalmente la coincidencia temporal entre valores relativamente bajos o altos de precipitación, humedad del suelo y PDSI y las variaciones registradas en el NDVI. Las temperaturas mínima y máxima se incorporaron como variables complementarias para caracterizar las condiciones térmicas presentes durante los períodos analizados. Este procedimiento permitió reconocer patrones de comportamiento conjunto entre las condiciones ambientales y la cobertura vegetal, sin

asumir que la variación de una sola variable hidro climática explicara directamente los cambios observados en el NDVI.

De manera complementaria, la asociación entre las variables hidro climáticas y el NDVI fue evaluada mediante el coeficiente de correlación de Spearman, considerando la naturaleza de los datos y la necesidad de examinar relaciones monotónicas sin asumir una distribución normal. Los coeficientes obtenidos fueron interpretados conjuntamente con sus valores de significancia estadística. Este análisis permitió establecer la dirección y magnitud de las asociaciones observadas entre las variables, sin atribuir relaciones de causalidad.

3.7.3.6 Comparación del NDVI con otros ecosistemas de páramo

Con el propósito de disponer de una referencia externa para el comportamiento de la cobertura vegetal, se compararon los registros de NDVI del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas con los obtenidos en otros ecosistemas de páramo seleccionados para el estudio. La comparación se realizó considerando sectores con características de alta montaña que permitieran contextualizar la respuesta espectral observada en Cruz de Ventanas, sin asumir que las condiciones ecológicas, climáticas o de cobertura fueran idénticas entre los sitios.

Para los páramos utilizados como referencia se emplearon imágenes Sentinel-2 disponibles en Google Earth Engine. El NDVI fue calculado a partir de las bandas B8 y B4 mediante el procedimiento descrito previamente. Posteriormente, los registros obtenidos para cada sector fueron organizados temporalmente y se calcularon estadísticos descriptivos que permitieron caracterizar su comportamiento y facilitar la comparación entre las áreas consideradas.

Para fortalecer la comparabilidad temporal, se identificaron las fechas que contaban con información disponible en los sectores analizados. A partir de estas fechas comunes se contrastaron los valores de NDVI registrados en cada área, evitando interpretar diferencias derivadas únicamente de imágenes correspondientes a momentos distintos. La comparación consideró tanto el comportamiento general de los registros como las diferencias observadas entre los sitios durante fechas equivalentes.

Los resultados de esta comparación fueron utilizados como referencia contextual para examinar si el comportamiento del NDVI de Cruz de Ventanas presentaba similitudes o diferencias respecto de otros ecosistemas de páramo. Debido a las diferencias ambientales y ecológicas existentes entre los sectores, los valores obtenidos en las áreas de referencia no fueron considerados umbrales aplicables directamente a Cruz de Ventanas, sino elementos comparativos para complementar la interpretación de la variabilidad de su cobertura vegetal.

3.7.3.7 Procesamiento de las proyecciones climáticas SSP245 y SSP585

Para el análisis de las posibles condiciones climáticas futuras se procesaron las proyecciones obtenidas de WorldClim v2.1 para el período 2021–2040, correspondientes al modelo climático global MRI-ESM2-0 bajo los escenarios SSP245 y SSP585. Las variables consideradas fueron precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima, debido a su disponibilidad tanto en la información histórica como en las proyecciones seleccionadas.

Los archivos ráster correspondientes a cada variable y escenario fueron procesados en ArcGIS Pro utilizando el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas como unidad espacial de análisis. Los rasters fueron delimitados al área de estudio y, para cada variable,

escenario y mes, se obtuvo el valor espacial representativo del APH. Los resultados fueron posteriormente organizados en matrices mensuales diferenciadas para SSP245 y SSP585.

Las proyecciones fueron interpretadas considerando que los doce valores mensuales proporcionados para cada escenario representan condiciones climáticas mensuales proyectadas para el período 2021–2040 y no una serie de observaciones anuales independientes. Por esta razón, su procesamiento se orientó a caracterizar el comportamiento mensual proyectado y a establecer una base homogénea para su posterior comparación con las condiciones históricas.

Los escenarios SSP245 y SSP585 fueron analizados de manera independiente y posteriormente contrastados entre sí. Su utilización permitió considerar dos trayectorias diferentes de condiciones climáticas futuras, sin interpretar los valores proyectados como predicciones exactas de las condiciones que necesariamente se producirán en el Área de Protección Hídrica.

3.7.3.8 Comparación entre condiciones históricas y escenarios futuros

La comparación entre las condiciones históricas y las proyecciones climáticas se realizó para las variables disponibles en ambas fuentes de información: precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima. Para mantener la correspondencia temporal, los registros históricos del período 2017–2025 fueron organizados según su comportamiento mensual y posteriormente contrastados con los valores mensuales proyectados para 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585.

Para cada variable se examinaron las diferencias entre las condiciones históricas y las proyectadas, considerando la dirección y magnitud de los cambios observados entre ambos

períodos. De manera complementaria, los valores proyectados fueron contrastados con los rangos estadísticos históricos definidos mediante P25 y P75, con el propósito de determinar su posición respecto de la variabilidad registrada en el período 2017–2025. En este contexto, los percentiles fueron utilizados como referencias históricas y no como umbrales climáticos absolutos.

La comparación se realizó de manera independiente para SSP245 y SSP585, permitiendo reconocer meses en los que las proyecciones mostraron condiciones inferiores, comprendidas dentro o superiores a los rangos históricos de referencia. Los resultados fueron organizados mediante tablas y representaciones gráficas para facilitar la identificación de posibles variaciones en el régimen de precipitación y en las temperaturas mínima y máxima.

Finalmente, las variaciones identificadas fueron interpretadas en relación con el comportamiento histórico de las condiciones ambientales y con los servicios ecosistémicos previamente reconocidos en Cruz de Ventanas, particularmente aquellos relacionados con la provisión y regulación hídrica. Esta interpretación se realizó en términos de posibles implicaciones ambientales frente a los escenarios climáticos considerados, sin asumir relaciones causales directas ni interpretar las proyecciones como condiciones futuras ciertas.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado del Objetivo 1: Identificar y describir los servicios ecosistémicos presentes en el páramo de Cruz de Ventanas, caracterizando su estado de conservación y las principales formas de uso.

Como parte del proceso de identificación de los servicios ecosistémicos presentes en el páramo de Cruz de Ventanas, se realizó un registro de las especies de flora observadas durante las visitas de campo al área de estudio. Este proceso permitió reconocer las especies

presentes y relacionarlas con las funciones y beneficios que proporcionan al ecosistema y a la población local.

Para cada especie registrada se recopiló información relacionada con su nombre común y científico, los servicios ecosistémicos asociados y el estado en el que se encuentra dentro del área de estudio. Asimismo, se consideraron sus principales características y las formas de aprovechamiento identificadas, con el propósito de comprender su importancia ecológica, social y cultural, de esta manera, los resultados contribuyen a determinar la importancia de la conservación de estos recursos frente a los posibles escenarios de cambios climáticos considerados en la investigación.

4.1.1 Valor Ambiental - Servicios Ecosistémicos

4.1.1.1 Candenilla o Valeriana del Cerro

Nombre común: Candenilla o valeriana del cerro

Nombre científico: *Valeriana microphylla*



Ilustración 1: Candenilla o valeriana del cerro
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Provisión, Soporte y Cultural

Estado: Natural

Descripción: *Valeriana microphylla* es una hierba de la familia Caprifoliaceae, caracterizada por formar rosetas bajas con hojas pequeñas, enteras o ligeramente dentadas, y tallos floríferos que portan inflorescencias en corimbo con numerosas flores blanquecinas a rosadas. Se distribuye en ecosistemas de páramo de los Andes del norte y centro, generalmente entre 3.200 y 4.300 m.s.n.m., en pastizales húmedos, laderas pedregosas y bordes de matorrales de alta montaña. En Ecuador se ha registrado en varios complejos de páramo andino, donde suele asociarse con gramíneas, pajonales y almohadillas, soportando bajas temperaturas, heladas frecuentes y alta radiación (Romoleroux, 2019).

Uso medicinal (servicio de provisión): Esta especie de Valeriana de páramo es utilizada en la medicina tradicional como plantas sedantes y antiespasmódicas suaves, empleadas en infusiones para tratar trastornos del sueño, nerviosismo, dolores de cabeza y malestares digestivos de origen nervioso. Las raíces y rizomas concentran la mayoría de compuestos activos, como aceites esenciales y valepotriatos, responsables de sus efectos sobre el sistema nervioso central, por lo que su uso se considera un servicio de provisión asociado a productos medicinales silvestres (Romoleroux, 2019).

Servicio de soporte y regulación: La presencia de Valeriana microphylla en los mosaicos de vegetación de páramo contribuye a la cobertura del suelo y a la estabilidad de laderas, ayudando a reducir la erosión superficial por viento y lluvia. Como componente de la flora nativa de alta montaña, participa en procesos de polinización y reciclaje de nutrientes, ofreciendo recursos florales para insectos y otros polinizadores adaptados a condiciones frías, lo que constituye un servicio de soporte al mantenimiento de la biodiversidad (Romoleroux, 2019).

4.1.1.2 Paja

Nombre común: Paja

Nombre científico: *Calamagrostis intermedia*



Ilustración 2: Paja

Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación y Provisión

Estado: Nativa, especie dominante y estructural del ecosistema de pajonal andino.

Descripción: Gramínea que crece en macollas densas o estructuras cespitosas, constituyendo la matriz vegetal predominante en el APH Cruz de Ventanas entre los 3.200 a 4.200 m.s.n.m. Sus hojas, largas, rígidas y acanaladas, están adaptadas morfológicamente para reducir la evotranspiración ante los vientos secos y la alta radiación solar la parroquia Simiatug. Su sistema radicular fasciculado forma una red densa y profunda que coloniza los horizontes orgánicos del suelo.

Función Hidrológica: Los pastizales dominados por *Calamagrostis intermedia* actúan como una barrera biológica que ayuda a regular el ciclo hídrico del páramo y a reducir la escorrentía superficial (Buytaert et al., 2006). La canopia densa de las macollas intercepta buena parte de la lluvia y la neblina, amortiguando el impacto de las gotas sobre el suelo y

favoreciendo que el agua se infiltre lentamente en los suelos volcánicos ricos en materia orgánica (Mosquera et al., 2023). En estos Andosoles se han medido contenidos de agua muy altos y una notable capacidad de almacenamiento, lo que permite transformar una fracción importante de la lluvia en flujo subsuperficial y caudal de base, disminuyendo la erosión y las crecidas en las quebradas altoandinas (Podwojewski & Poulenard, 2006).

Rol en la biodiversidad: Las macollas de C, intermedia crean microambientes donde se moderan las variaciones extremas de temperatura y humedad, proporcionando refugio a invertebrados, pequeños mamíferos y plántulas de otras especies (Mosquera et., 2023). El monitoreo de herbazales en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo ha mostrado que esta gramínea se encuentra entre las especies más dominantes y sensibles a cambios asociados al calentamiento global. La acumulación y descomposición de sus hojas aporta continuamente materia orgánica, garantizando la continuidad de carbono, la estructura y la fertilidad típica de los pajonales bien conservados.

4.1.1.3 Paja de Viento

Nombre común: Paja de Viento

Nombre científico: *Cortaderia sericantha*



Ilustración 3: Paja de Viento

Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Soporte y Regulación

Estado: Bajo categoría de preocupación menor (alta susceptibilidad a perturbaciones antropogénicas locales como quemas controladas, sobrepastoreo y cambio de uso de suelo).

Descripción: Es una gramínea de tamaño intermedio que produce macollas densas, sus hojas son alargadas, estrechas y tienen bordes cortantes y ásperos, parecidas a las otras especies del mismo género que se usan como “pasto de pampas”. Estos tallos firmes posibilitan mantenerse en posición vertical incluso en las laderas expuestas al viento.

En la parte central del APH actúa como una especie predominante, ya que cubre mayor parte del suelo orgánico donde amortigua el impacto de la lluvia, el viento y la radiación solar, protegiendo la superficie de la erosión y la pérdida de humedad, con esto el suelo mantiene su estructura y su capacidad de almacenamiento hídrico ofreciendo un

entorno seguro para la microfauna ayudando a mantenerla (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

4.1.1.4 Paja de Páramo

Nombre común: Paja de Páramo

Nombre científico: *Calamagrostis steyermarkii*



Ilustración 4: Paja de páramo

Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Soporte, Regulación y Provisión

Estado: Natural

Descripción: La Calamagrostis es una gramínea, que tiene tallos delgados y hojas angostas, esta especie se ubica en las praderas de páramo húmedo donde tiene una relación con los suelos orgánicos saturados con una humedad subsuperficial elevada. Se encuentra en laderas suaves, depresiones y áreas donde hay acumulación de agua, formando mosaicos de pajonal junto con otras gramíneas y almohadillas montañosas. Tiene un aspecto uniforme y

bastante denso debido a su estructura en macollas compactas y su altura media le posibilitan resistir vientos fuertes y conservar una cobertura continua cerca del suelo (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

Material: Se utilizan como material de techado para las chozas, así como también para la elaboración de artesanías, amarres y elementos de cestería. Además, en épocas de escases de pastos más tiernos, sus brotes jóvenes sirven como alimento de subsistencia para el ganado de altura.

4.1.1.5 Almohadilla

Nombre común: Almohadilla

Nombre científico: *Azorella pedunculata*



Ilustración 5: Almohadilla, Yareta
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio

Regulación y Provisión

ecosistémico: Soporte,

Estado: Nativa

Descripción: La Azorella es una herbácea que forma almohadillas muy compactas y redondeadas que pueden alcanzar hasta unos 50 cm de grosor. Estas almohadillas se desarrollan en zonas de alta montaña frías y expuestas, sobre suelos pobres, donde su crecimiento es extremadamente lento termina generando los “cojines” verdes que modelan el relieve del páramo (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

Estos cojines favorecen el control del agua y la estabilidad del terreno en el páramo, dado que su estructura compacta funciona como una esponja que recoge el agua de lluvia y la almacena en su matriz de raíces y tallos, para después liberarla progresivamente al suelo.

4.1.1.6 Cojín de Páramo

Nombre común: Cojín de Páramo

Nombre científico: *Plantago rígida kunth*



Ilustración 6: Cojín de páramo
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Soporte y Regulación

Estado: Nativa, especie característica de subpáramo y páramo alto andino.

Descripción: Conocida como cojín de páramo, es una hierba que adopta una forma almohadilla muy compacta, con hojas pequeñas y cariáceas, de modo que se pueden formar cojines continuos sobre el suelo. Estos cojines se desarrollan en sitios fríos y muy húmedos del subpáramo y páramo, y en depresiones encharcadas. Su estructura baja, densa y acolchonada le permite resistir heladas frecuentes, vientos intensos y una saturación permanente del suelo, manteniendo el cojín estable frente a estos cambios extremos (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

Servicio de soporte y regulación: En conjunto con muchas rosetas, estas forman cojines gigantescos que actúan como esponjas hídricas reteniendo grandes cantidades de agua de lluvia y neblina, regulando así el flujo de agua en las cuencas bajas. De la misma manera esta cobertura protege el suelo de la erosión hídrica en los terrenos saturados, ya que en el interior de los cojines mantiene una temperatura y humedad más estables que el exterior, a medida que las hojas viejas se descomponen dentro de la misma, acumulan materia orgánica

Uso medicinal: El cojín de páramo es valorado por sus propiedades refrescantes, desinflamatorias y diuréticas, la infusión de sus hojas y raíces se emplea para “limpiar los riñones”, aliviar afecciones del sistema urinario y desinflamar golpes.

4.1.1.7 Estrella Rígida

Nombre común: Estrella Rígida

Nombre científico: *Valeriana rígida*



Ilustración 7: Estrella rígida
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación

Estado: Nativa

Descripción: La valeriana rígida es una hierba que desarrolla rosetas de hojas coriáceas y rígidas, así con tallos floríferos capaces de llegar a medir cerca de un metro en terrenos montañosos. La especie se ubica principalmente en áreas altoandinas de América del Sur y desarrolla su crecimiento en zonas de matorral, laderas y claros de bosque, vinculada a climas fresco y a terrenos con un buen drenaje (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

Uso medicinal: Esta especie posee un valor medicinal en la comunidad, ya que contiene aceites esenciales con propiedades calmantes y se emplea como un sedante natural

para apaciguar estados de nerviosismo, ansiedad, dolores de cabeza por el frío o la altura (soroche) y para conciliar el sueño.

4.1.1.8 Chuquiragua

Nombre común: Chuquiragua

Nombre científico: *Chuquiraga jussieui*



Ilustración 8: Chuquiragua
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico:

- **Regulación:** Regula el agua del páramo y previene la erosión del suelo.
- **Soporte:** Sostiene la biodiversidad.
- **Abastecimiento:** Medicina tradicional (infusiones).

Estado: Natural

Descripción: Es un arbusto, leñoso y de crecimiento bajo, usualmente mide entre 50 y 150 cm de altura, que se encuentra adaptado perfectamente a las condiciones extremas del páramo andino. Sus hojas son pequeñas, duras, coriáceas y terminan en una espina afilada, una brillante adaptación evolutiva diseñada para evitar la pérdida de agua por el viento helado y protegerse de los herbívoros. En las puntas de sus ramas destacan sus inflorescencias en capítulos de un llamativo color amarillo-anaranjado brillante, las cuales están cubiertas por brácteas duras que parecen escamas. Esta planta prospera en climas de alta montaña caracterizados por bajas temperaturas, alta radiación solar y vientos fuertes, siendo una especie nativa y endémica de la cordillera de los Andes que se distribuye principalmente en las zonas de páramo de Ecuador, a altitudes que van desde los 3.000 hasta los 4.500 metros sobre el nivel del mar (Ulloa, 2008).

Medicinal: Se preparan infusiones a partir de sus hojas y flores, atribuyéndole propiedades diuréticas, sudoríficas, antiinflamatorias y excelentes beneficios para regular el sistema digestivo y hepático.

Ornamental y Artesanal: Debido a que sus flores secas conservan su color naranja brillante durante años sin marchitarse, se utilizan para la elaboración de artesanías y arreglos florales secos.

4.1.1.9 Licopodio del Páramo

Nombre común: Licopodio del Páramo

Nombre científico: *Phlegmariurus compactus*



Ilustración 9: Licopodio del páramo
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulacion y Soporte

Estado: Natural

Descripción: Es una planta terrestre y de crecimiento erecto que forma densos manojos de columnas cilíndricas que recuerdan a pequeñas colas peludas apuntando al cielo. No posee flores ni semillas, en su lugar, al ser un licófito ancestral, se reproduce mediante esporas que se alojan en diminutas cápsulas llamadas esporangios. Sus hojas son estructuras sumamente pequeñas, triangulares y rígidas que crecen fuertemente imbricadas, es decir, apretadas unas sobre otras como escamas, confiriéndole ese aspecto tan compacto a sus tallos. Su coloración varía desde verdes encendidos y tonos dorados hasta un llamativo color rojizo o anaranjado que actúa como un protector solar natural contra la extrema radiación

ultravioleta de la alta montaña. Esta planta prospera en climas fríos y sumamente húmedos con neblina constante, siendo una especie silvestre, nativa y endémica de la cordillera de los Andes que habita específicamente en las zonas de páramo de Ecuador y regiones vecinas a altitudes extremas entre los 3.500 y 4.500 metros sobre el nivel del mar (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales – Instituto Nacional de Biodiversidad, 2015).

4.1.1.10 Chicoria Blanca

Nombre común: Chicoria Blanca

Nombre científico: *Werneria nubigena*



Ilustración 10: Chicoria blanca
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación y Soporte

Estado: Natural

Descripción: Es una hierba pequeña, de crecimiento acaule o rastrero, que rara vez supera los 15 cm de altura y tiende a formar colonias densas. Sus hojas son basales, alargadas, lineares o lanceoladas, de consistencia algo carnosa y rígida, agrupadas densamente en forma

de roseta; presentan un color verde-grisáceo debido a una fina capa protectora que las resguarda de las heladas y la radiación extrema. En el centro de estas rosetas brotan de manera solitaria sus inflorescencias en capítulos que parecen una sola flor, compuestas por un disco central de color amarillo intenso y pétalos periféricos de color blanco puro. Prospera en un clima alpino andino frío y muy húmedo, habitando terrenos pantanosos, bordes de riachuelos y arenales de alta montaña. Es una especie nativa de la cordillera de los Andes, ampliamente distribuida en las zonas de páramo, en altitudes críticas que oscilan entre los 3.500 y hasta los 4.800 metros sobre el nivel del mar (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales – Instituto Nacional de Biodiversidad, 2015).

Medicinal: Es sumamente valorada en la medicina, la infusión de sus raíces y hojas se emplea popularmente para combatir problemas digestivos, dolores de estómago, diarreas y afecciones de los riñones o del hígado.

4.1.1.11 Clavelina de Cerro

Nombre común: Clavelina de Cerro

Nombre científico: *Oritrophium crocifolium*



Ilustración 11: Clavelina de cerro
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación y Soporte

Estado: Natural

Descripción: Es una hierba de tamaño pequeño a mediano, que crece formando rosetas basales compactas desde donde emergen sus llamativos tallos florales. Sus hojas son alargadas, lineares a lanceoladas de un color verde oscuro en el haz y a menudo cubiertas de una densa lanosidad blanquecina en el envés para retener el calor. Sus inflorescencias se presentan en capítulos solitarios al final de largos tallos erguidos y notablemente lanudos; estas "flores" cuentan con un centro amarillo y delicados pétalos de color blanco o crema que se tornan pardos al madurar. Prospera en el clima frío, húmedo y ventoso del páramo, habitando entre pajonales y zonas abiertas con alta radiación. Es una especie silvestre y nativa

del norte de la cordillera de los Andes, encontrándose principalmente en los páramos de Ecuador, en altitudes que van desde los 3.200 hasta los 4.300 metros sobre el nivel del mar (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales – Instituto Nacional de Biodiversidad, 2015).

Medicinal: Se utiliza en la medicina tradicional, las infusiones de sus hojas y flores se emplean popularmente para aligerar malestares respiratorios como: la tos o el resfriado comunes, debido a las propiedades sudoríficas que se le atribuyen, así como, para calmar dolores estomacales.

4.1.1.12 Arquitecta

Nombre común: Arquitecta

Nombre científico: *Lasiocephalus ovatus*



Ilustración 12: Arquitecta
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación y Soporte

Estado: Natural

Descripción: Es un subarbusto o hierba erecta, de tamaño mediano usualmente mide entre 30 y 60 cm de altura, que destaca por sus tallos rígidos y columnares. Sus hojas son pequeñas, ovadas, sésiles y crecen de manera extremadamente imbricada. Toda la superficie de la planta está recubierta por una densa y suave capa de pelos blancos o grisáceos, una adaptación evolutiva fundamental que atrapa el aire para crear un microclima cálido y refleja la intensa radiación ultravioleta. En el ápice de sus tallos erguidos brotan sus inflorescencias en capítulos globosos, compactos y de tonos blanquecinos o amarillentos. Prospera en el clima frío, extremadamente ventoso y húmedo del páramo alto, habitando entre pajonales y laderas rocosas. Es una especie silvestre y nativa del norte de la cordillera de los Andes, a altitudes que oscilan entre los 3.400 y los 4.500 metros sobre el nivel del mar (Hofstede, Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro, 2023).

Medicinal: Se emplea en infusiones debido a propiedades medicinales asociadas al alivio de afecciones respiratorias como: resfriados, tos y dolores reumáticos, aprovechando el efecto reconfortante y protector de sus principios activos.

Ornamental y de Paisaje: Su curiosa simetría y apariencia plateada le otorgan un altísimo valor paisajístico y ecoturístico dentro de las reservas naturales de alta montaña.

4.1.1.13 Jata, trencillo del cerro

Nombre común: Jata, trencillo del cerro

Nombre científico: *Loricaria thuyoides*



Ilustración 13: Jata, trencillo del cerro
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Soporte y Regulación

Estado: Natural

Descripción: Es un arbusto, leñoso y densamente ramificado que suele medir entre 30 y 80 cm de altura, adaptado por completo a resistir el viento y las heladas. Sus hojas son sumamente pequeñas, escamiformes, coriáceas y crecen tan apretadas, fusionadas e imbricadas alrededor de las ramas que estas adquieren un aspecto aplanado, geométrico y “trenzado”. Tienen un color verde oliva o grisáceo en el haz, y están cubiertas por una densa capa de vello lanoso blanquecino en las zonas ocultas para retener el calor corporal de la planta. Sus inflorescencias son capítulos pequeños, solitarios y discretos que brotan en los extremos o costados de las ramas. Prospera en el clima gélido, húmedo y con alta radiación

del páramo a altitudes extremas entre los 3.400 y los 4.500 metros sobre el nivel del mar (Naturaleza y Cultura Internacional, 2025).

4.1.1.14 Tucshi Hembra

Nombre común: Tucshi Hembra

Nombre científico: *Gynoxys miniphylla*



Ilustración 14: Tucshi Hembra
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación y Soporte

Estado: Natural

Descripción: Es un arbusto y leñoso de tamaño mediano que suele alcanzar entre 1 y 2 metros de altura, adaptado morfológicamente para resistir las heladas y los vientos del páramo. Sus hojas son simples, opuestas, elípticas a lanceoladas, coriáceas y presentan un contraste visual muy marcado: el haz es de un color verde oscuro brillante, mientras que el envés está densamente cubierto por un lanoso de color blanco o amarillento que sirve para

retener la humedad y mitigar el frío extremo. Sus inflorescencias se agrupan en corimbos terminales compuestos por pequeños capítulos florales de un color amarillo brillante que contrastan fuertemente con el follaje. Esta planta prospera en climas fríos y nublados, habitando en el matorral de páramo, entre los 3.200 y los 4.200 metros sobre el nivel del mar (Ulloa, 2008).

Medicinal: Se utilizan mediante infusiones o emplastos para aliviar dolores musculares, reumáticos y afecciones inflamatorias de la piel.

4.1.1.15 Halenia

Nombre común: Halenia

Nombre científico: *Halenia pulchella*



Ilustración 15: Halenia
Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026)

Servicio ecosistémico: Regulación, Soporte y Cultural

Estado: Natural

Descripción: Es una pequeña hierba, de crecimiento erecto o a veces rastrero, que suele medir entre 5 y 20 cm de altura. Sus hojas son simples, opuestas, de forma elíptica a lanceolada, con bordes enteros y una consistencia ligeramente carnosa, adaptadas para retener agua en la alta montaña. Lo más destacado de la planta son sus flores de un color amarillo encendido, las cuales poseen una corola tetrámera, es decir, de cuatro pétalos, modificada en su base con cuatro prolongaciones huecas en forma de espolones, que apuntan hacia atrás. Prospera en el clima gélido, húmedo y expuesto del páramo y superpáramo, habitando principalmente inmersa en colchones de almohadillas, pajonales húmedos y laderas rocosas, encontrándose en altitudes que oscilan entre los 3.400 y los 4.500 metros sobre el nivel del mar (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales – Instituto Nacional de Biodiversidad, 2015).

Medicinal: Se emplean tradicionalmente en infusiones debido a sus principios activos amargos, se usa como un tónico digestivo, protector hepático y para aliviar afecciones de la vesícula biliar.

4.1.2 Valor Paisajístico – Fauna

4.1.2.1 Lobo de Páramo

Especie: *Lycalopex culpaeus reissi* (Lobo de páramo / Zorro andino).



Ilustración 16: Lobo de páramo

Nota: Adaptado de: Dreamstime, (s. f.), El fox o lobo andino [Fotografía], Dreamstime.

Servicio ecosistémico:

- **Regulación:** Control biológico de mesopredadores y herbívoros.
- **Soporte:** Ciclado de nutrientes

Estado: Vulnerable en Ecuador

Descripción: Es un cánido de tamaño mediano a grande, con una longitud corporal aproximada a 60 y 115 cm y un peso adulto de 5 a 12 kg, presenta un pelaje denso, grueso y de doble capa, lo cual constituye una adaptación evolutiva crítica para resistir las fluctuaciones térmicas extremas y las bajas temperaturas del páramo en altitudes superiores a los 3.500 m.s.n.m.

En el Área de Protección Hídrica (APH) Simiátug, esta subespecie opera como un depredador tope o mesopredador importante de la cadena trófica del herbazal de páramo y

matorral interandino. Posee hábitos predominantemente solitarios y territoriales, con picos de actividad nocturna, aunque puede registrarse de forma diurna en zonas con baja presión antrópica. Su alimentación se basa en omnívoro-carnívoro, complementada estacionalmente con aves terrestres, invertebrados, carroña y frutos de plantas ericáceas o arbustivas nativas.

4.1.2.2 Ciervo de cola blanca de la Sierra

Especie: *Odocoileus virginianus ustus* (Ciervo de cola blanca de la Sierra / Venado de páramo).



*Ilustración 17: Ciervo de cola blanca de la Sierra
Nota: Adaptado de Andean White-tailed Deer on a paramo meadow
in Antisana Volcano Ecological Reserve in Ecuadorian Andes
[Fotografía], por Shutterstock, s. f., Shutterstock.*

Servicio ecosistémico:

- **Soporte:** Mantenimiento de la biodiversidad y pastoreo selectivo.
- **Cultural:** Valor intrínseco, identidad comunitaria andina y potencial ecoturístico.

Estado: Casi Amenazada en la región Interandina de Ecuador.

Descripción: Es un ungulado artiodáctilo de tamaño mediano a grande, cuya masa corporal se rodea entre los 4° y 70 kg, Presenta adaptaciones morfológicas rigurosas para la vida en alta montaña, altitudes entre 3.000 a 4.500 m.s.n.m., como un pelaje denso, largo y de coloración pardo-grisácea, que le da propiedades de aislamiento térmico y camuflaje críptico frente al pajonal seco y los roquedales. Los machos adultos desarrollan astas ramificadas que mudan anualmente de la cola, la cual despliega erecta como señal de alarma al detectar algo en su entorno.

4.1.2.3 Conejo de Monte

Especie: *Sylvilagus brasiliensis complex* (Conejo de monte/Conejo andino)



Ilustración 18: Conejo de Monte

Nota: Adaptado de Conejo tapetí [Fotografía], por Mundo Conejo, s. f., Mundo Conejo.

Servicio ecosistémico:

- **Soporte:** Es la base fundamental del páramo a través del pastoreo micro local.
- **Regulación:** Ciclado acelerado de nutrientes y nitrificación del suelo.
- **Provisión:** Cacería tradicional de subsistencia y aporte de proteína para comunidades locales.

Estado: Preocupación menor a nivel nacional, aunque sus poblaciones andinas experimentan declives locales severos debido a la presencia de fauna feral.

Descripción: Es un mamífero lagomorfo de tamaño pequeño, con una longitud corporal que fluctúa entre los 30 y 42 cm y un peso adulto que va entre los 700 y 1.200 gramos. Fisiológicamente, posee un cuerpo compacto con extremidades posteriores más cortas que las de las liebres, lo cual presenta una adaptación locomotor adaptada para realizar desplazamientos rápidos y zigzagantes entre la vegetación densa y los obstáculos del terreno altoandino.

Esta especie mantiene hábitos principalmente crepusculares y nocturnos, resguardándose durante el día en las madrigueras abandonadas o "camas" ocultas bajo los densos macollos de gramíneas de los géneros *Calamagrostis* y *Festuca*. Su estrategia alimentaria se define como herbívoro ramoneador y pastoreador selectivo. Posee un sistema digestivo especializado que le permite procesar la celulosa de las plantas altoandinas y reingerir las primeras deyecciones blandas para optimizar la absorción de vitaminas y proteínas bacterianas.

4.1.2.4 Curiquingue

Especie: *Phalcoboenus carunculatus* (Curiquingue/ Caracara Carunculado)



Ilustración 19: Curiquingue

Nota: Adaptado de Carunculated caracara (Phalcoboenus carunculatus) [Fotografía], por Kiddle, s. f., Kiddle.

Servicio ecosistémico:

- **Regulación:** Control biológico de macroinvertebrados edáficos y roedores.
- **Soporte:** Bioturbación micro local superficial del suelo.

Estado: Preocupación menor en Ecuador.

Descripción: El curiquingue es un ave rapaz mediana de la familia de los halcones, posee un tamaño entre los 50 a los 56 cm de largo. Su aspecto llama mucho la atención por el fuerte contraste de sus colores: tiene el lomo, la cabeza, el pecho y las alas de un negro brillante, mientras que la panza, la rabadilla, la base interna de las alas y la punta de la cola son completamente blancas. Su piel desnuda de su cara y garganta, que luce un color entre naranja y rojo encendido que cambia de tono según qué tan alterado o emocionado esté el animal. Además, tiene unas patas amarillas largas y robustas, perfectas para caminar, a

diferencia de otros halcones que se la pasan volando, el curiquingue prefiere la vida en el suelo del páramo. Es muy normal verlo caminar o correr entre el pajonal y los campos recién arados, suele andar en pequeños grupos familiares y come prácticamente de todo: desde lombrices y el famoso "gusano blanco" de la papa, hasta lagartijas, ratones y restos de carroña.

4.1.2.5 Mirlo Grande

Especie: *Turdus fuscater* (Mirlo grande/Zorzal gigante)



Ilustración 20: Mirlo Grande

Nota: Adaptado de Fotografía [Fotografía], por Flickr, s. f., Flickr.

Servicio ecosistémico:

- **Regulación:** Dispersión endozoócara de semillas arbustivas, restauración biológica activa de ecosistemas degradados y control de insectos.
- **Soporte:** Estructuración de la complejidad del sotobosque.

Estado: Preocupación menor.

Descripción: Esta especie es el ave paseriforme de mayor tamaño y visibilidad en los Andes ecuatorianos, mide entre 28 y 33 cm de largo, su plumaje se caracteriza por ser

totalmente uniforme, exhibiendo un tono grisáceo oscuro o negro mate. Destacan visualmente su pico fuerte, sus patas y el anillo ocular desnudo, los cuales presentan una intensa coloración naranja amarillenta. El ave muestra una gran versatilidad para habitar distintos entornos, desde matorrales nativos y bordes de quebradas hasta huertos y zonas de cultivo. Su dieta es omnívora, con una fuerte tendencia frugívora dependiendo de la estación, se alimenta de frutos de géneros como *Miconia* (colca), *Rubus* (mora silvestre) y *Vaccinium* (mortiño), los cuales ingiere enteros para digerir la pulpa en su sistema digestivo sin alterar la viabilidad de las semillas.

4.1.2.6 Colibrí del Chimborazo

Especie: *Oreotrochilus Chimborazo* (Colibrí del Chimborazo/ Estrellita del Chimborazo)



Ilustración 21: Colibrí del Chimborazo

Nota: Adaptado de Fotografía de ave [Fotografía], por Cornell Lab of Ornithology, s, f., Macaulay Library

Servicio ecosistémico:

- **Soporte:** Polinización especializada de la flora clave de alta montaña.

- **Regulación:** Mantenimiento de la integridad florística e indirectamente regulación hidrológica.

Estado: Preocupación menor, pero con alto nivel de endemismo y restricción de hábitat (vulnerable al cambio climático global).

Descripción: Este colibrí de tamaño mediano de 12 a 14 cm, se destaca por su adaptación a las condiciones extremas del páramo alto, habitando altitudes entre los 3.600 y 4.800 m.s.n.m., la especie presenta diferencias físicas muy marcadas entre sexos, el macho adulto luce un capuchón de plumas brillantes en tonos violeta y azul intenso sobre la cabeza, lomo gris verdoso y un vientre blanco cruzado por una línea negra, por su parte, la hembra viste colores crípticos, con un dorso verde oliva y la zona ventral gris con finas motas verdes en la garganta, visualmente resaltan sus patas grandes y garras robustas, una ventaja anatómica que le permite posarse firmemente en las flores colgantes. Así, evita el vuelo estático y ahorra energía frente a los fuertes vientos de la alta montaña. Mantiene un vínculo coevolutivo directo con la chuquiragua, puesto que la forma de su pico largo y curvo se acopla con precisión a estas flores. Mismo que cuenta con la capacidad de entrar en torpor durante las noches, un estado de hipotermia regulada en el que disminuye drásticamente su temperatura y ritmo cardíaco para resistir las heladas nocturnas del páramo.

4.1.3 Servicio ecosistémico - Hídrico

Con el propósito de identificar las variaciones del servicio ecosistémico hídrico en el Área de Protección Hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, se realizaron tres monitoreos en diferentes puntos seleccionados. Durante el proceso se evaluaron variables relacionadas con el área, volumen y caudal del agua, con el fin de observar los cambios registrados entre las fechas de monitoreo. Los resultados obtenidos se presentan en el siguiente cuadro:

4.1.3.1 Servicio ecosistémico – Hídrico

Tabla 1. Fuentes de agua del Área de Producción Hídrica

Punto de monitoreo	Variable evaluada	X	Y	Monitoreo 1 (23/01/2026)	Monitoreo 2 (20/03/2026)	Monitoreo 3 (08/04/2026)
Fuente 1	Área de la fuente	731758	9855210	0,73 m ²	1,31 m ²	1,31 m ²
	Volumen del agua			0,04 m ³	0,18 m ³	0,26 m ³
Fuente 2	Área de la fuente	731820	9855370	9,47 m ²	9,8 m ²	9,52 m ²
	Volumen del agua			0,53 m ³	0,88 m ³	1,60 m ³
Fuente 3	Área de la fuente	731275	9855600	5,34 m ²	5,34 m ²	5,34 m ²
	Volumen del agua			0,79 m ³	1,38 m ³	2,06 m ³
Fuente 4	Caudal	731137	9855750	0,075 L/s	0,62 L/s	0,30 L/s
				(0,000075 m ³ /s)	(0,00062 m ³ /s)	(0,00030 m ³ /s)

Elaborado por: (Nicolalde & Paredes, 2026)



4.2 Resultado del objetivo 2: Estimar el valor social, ambiental, económico y cultural que los habitantes de la comunidad asignan a los servicios del ecosistema de páramo, empleando metodologías de percepción comunitaria y disposición económica.

La encuesta aplicada a 28 jefes de hogar de la comunidad Cruz de Ventanas, donde se estimó el valor social, ambiental, económico y cultural.

BLOQUE I – DIMENSIÓN SOCIAL

1. ¿Cómo calificaría la importancia del páramo para su comunidad?

Tabla 2: Importancia del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Muy importante	25	89,3
Importante	3	10,7
Poco importante	0	0,0
Sin importancia	0	0,0
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos en la encuesta de la dimensión social del (APH).

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: En la valoración que se realizó a la comunidad sobre la importancia del páramo, se observó que casi la totalidad de las personas encuestadas lo consideran un componente clave para la vida local. Este resultado muestra que el ecosistema de páramo no se percibe como un espacio lejano, sino como un soporte directo para el bienestar de las familias y el funcionamiento de sus actividades cotidianas.

2. ¿De qué manera se beneficia su comunidad del páramo?

Tabla 3: Beneficios del páramo

Beneficios identificados (servicios ecosistémicos)		Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Provisión de agua		21	75,0
Protección del suelo		5	17,9
Valor Paisajístico y biodiversidad		0	0,0
Valor cultural y ancestral		1	3,6
Soporte agropecuario directo		1	3,6
Total		28	100,0

Nota: Datos correspondientes a las categorías de servicios ecosistémicos priorizados por la población en el APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría de los hogares relacionó este ecosistema principalmente con la provisión de agua, mientras que otros servicios como la protección del suelo o los valores culturales y de biodiversidad son mencionados con menor frecuencia. Esto sugiere que la percepción comunitaria se centra en el beneficio hídrico, dejando en segundo plano la diversidad de funciones ecológicas y culturales que también ofrece el páramo. Este patrón indica la oportunidad de trabajar en procesos de educación ambiental que visibilicen otros servicios ecosistémicos, de modo que la población reconozca un valor más amplio del Área de Protección Hídrica.

3. **¿Participaría en actividades comunitarias para la conservación del páramo si la comunidad recibiera incentivos económicos a cambio?**

Tabla 4: Disposición comunitaria

Condición de participación	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sí, participaría, aunque no hubiera incentivos	28	100,0
Sí, participaría si existieran incentivos económicos	0	0,0
Participaría solo con apoyo técnico o material, sin necesidad de incentivos monetarios	0	0,0
No participaría bajo ninguna condición	0	0,0
Total	28	100,0

Nota: Datos orientados a evaluar la capacidad de organización comunitaria dentro del APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: En relación con la disposición a participar en actividades comunitarias orientadas a la conservación del páramo, las respuestas mostraron que todas las personas encuestadas manifestaron estar dispuestas a involucrarse aun en ausencia de incentivos económicos directos. Este comportamiento evidenció un compromiso colectivo con el cuidado del ecosistema y refleja que la motivación principal de la comunidad está asociada a la protección del agua y del territorio, más que a un beneficio monetario inmediato.

BLOQUE II – DIMENSIÓN AMBIENTAL (SERVICIOS ECOSISTÉMICOS)

4. ¿Cuál considera que es el estado actual de conservación del páramo en su comunidad?

Tabla 5: Percepción comunitaria del estado actual de conservación

Categoría de estado actual de conservación	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Excelente/ No intervenido	17	60, 7
Bueno / Poco intervenido	11	39, 3
Regular / Medianamente degradado	0	0,0
Malo / Muy degradado	0	0,0
Total	28	100,0

Nota: Datos orientados a identificar la intervención antrópica en el APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: En cuanto al estado actual de conservación del páramo, la mayoría de las personas encuestadas lo calificó entre excelente y bueno, no se registraron respuestas que lo describieran como severamente degradado. Esto indicó que, desde la perspectiva local al momento del levantamiento de información, el ecosistema mantenía condiciones aceptables y no se percibía un nivel extremo de degradación.

5. ¿Qué cambios ha observado en el páramo durante los últimos cinco años?

Tabla 6: Cambios observados por parte de la comunidad

Categoría de cambios observados	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Disminución en la disponibilidad de agua	9	32,1
Reducción de la vegetación nativa (pajonal - almohadilla) por quemaz o pastoreo	0	0,0
Aumento de contaminación	1	3,6
Aumento de la flora y fauna	5	17,9
Pérdida de rendimiento en cultivos o ganadería	1	3,6
Ningún cambio notable	12	42,9
Total	28	100,0

Nota: Datos para identificar los cambios en el APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Respecto a los cambios observados en el páramo durante los últimos cinco años, una parte importante de los encuestados indicaron que no percibió modificaciones relevantes, mientras que otro grupo reportó una disminución en la disponibilidad de agua y, en menor proporción, un aumento en la presencia de flora y fauna. Lo que resulta clave fortalecer los procesos de monitoreo ambiental y la difusión de información sobre cambio climático y manejo del páramo, de modo que la población cuente con más elementos para interpretar los cambios que se están produciendo en el Área de Protección Hídrica.

6. ¿Qué instrumentos o políticas conoce usted para el manejo del páramo de Cruz de Ventanas?

Tabla 7: Instrumentos y políticas

Categoría de instrumentos conocidos por la comunidad	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Acuerdo Ministerial N° 064 – Política de Ecosistemas Andinos	0	0,0
LORHUYA – Ley de Recursos Hídricos (2014)	2	7,1
COOA – Código Orgánico del Ambiente (2017)	2	7,1
Área de Protección Hídrica Simiátug – Acuerdo Ministerial MAATE (2022-091)	3	10,7
Protección de ecosistemas andinos	1	3,6
Reglamentos o acuerdos internos de la comunidad	11	39,3
Declaración comunitaria de área de conservación	5	17,9
Ninguno	2	7,1
Otro	2	7,1
Total	28	100,0

Nota: Datos para identificar las políticas que conoce la comunidad para el manejo de APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría de las personas encuestadas mencionó principalmente reglamentos y acuerdos internos comunitarios, mientras que el Área de Protección Hídrica y las normas nacionales fueron menos conocidas. Esto evidencia la necesidad de reforzar la difusión y el entendimiento del marco legal formal, con el objetivo de integrar de manera más efectiva la gestión comunitaria con las políticas públicas.

7. ¿Qué acciones cree que la comunidad podría implementar para conservar el páramo?

Tabla 8: Acciones que podría implementar la comunidad

Categoría de acciones			Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Ecoturismo económico	como	alternativa	11	39,3
Vegetación de especies nativas			9	32,1
Regulaciones comunitarias para el uso del páramo			2	7,1
Prácticas agrícolas sostenibles	ý	ganaderas	6	21,4
Comités de vigilancia y monitoreo comunitario			0	0,0
Total			28	100,0

Nota: Datos para identificar acciones que esté dispuesta la comunidad a implementar en el APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Frente a las posibles acciones para conservar el páramo, las respuestas se concentran en propuestas que combinan la generación de ingresos con la protección del ecosistema, destacándose el ecoturismo comunitario, la plantación de especies nativas y la adopción de prácticas agrícolas y ganaderas más sostenibles. Este resultado muestra que la comunidad no solo reconoce la necesidad de conservar el páramo, sino que identifica actualmente alternativas viables para disminuir el impacto sobre el ecosistema mientras mantienen, en cierta medida, sus actividades económicas.

BLOQUE II A – DIMENSIÓN CAMBIOS CLIMÁTICOS

8. En comparación con hace unos 10 años, evalúe el cambio en la frecuencia de los siguientes eventos climáticos en su comunidad:

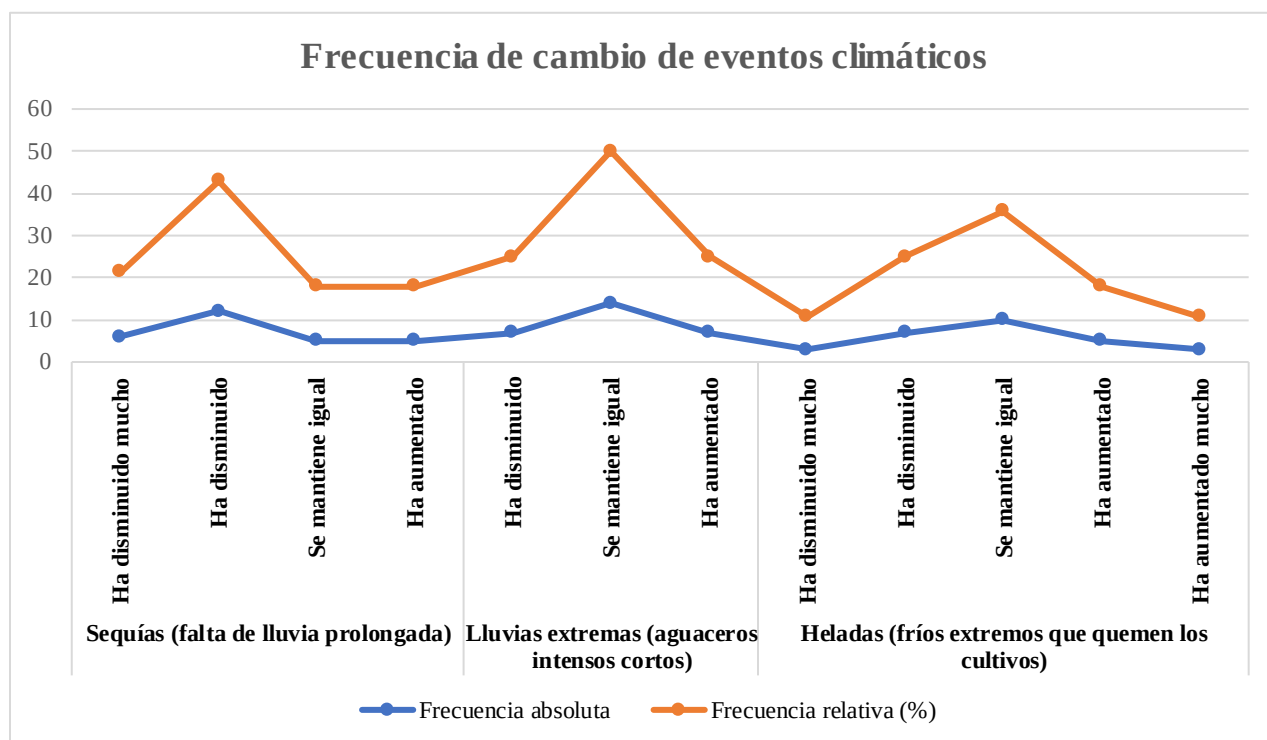
Tabla 9: Frecuencia de cambio de eventos climáticos

Evento		Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sequías (falta de lluvia prolongada)	Ha disminuido mucho	6	21,4
	Ha disminuido	12	42,9
	Se mantiene igual	5	17,9
	Ha aumentado	5	17,9
Total		28	100,0
Lluvias extremas (aguaceros intensos cortos)	Ha disminuido	7	25,0
	Se mantiene igual	14	50,0
	Ha aumentado	7	25,0
Total		28	100,0
Heladas (fríos extremos que quemen los cultivos)	Ha disminuido mucho	3	10,7
	Ha disminuido	7	25,0
	Se mantiene igual	10	35,7
	Ha aumentado	5	17,9
	Ha aumentado mucho	3	10,7
Total		28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la evaluación percibida de la comunidad respecto al cambio climático en los últimos 10 años.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Gráfico 1. Frecuencia de cambio de eventos climáticos.



Interpretación: La mayoría percibió que sequías, lluvias extremas y heladas se mantuvieron estables o disminuyeron en la última década, aunque una minoría señaló un aumento de estos eventos. Esta diversidad en las experiencias refleja que la percepción del clima varía considerablemente, lo que resalta la importancia de complementar dichas percepciones con datos climáticos objetivos para entender de manera más precisa la evolución de los riesgos y su vínculo con el páramo.

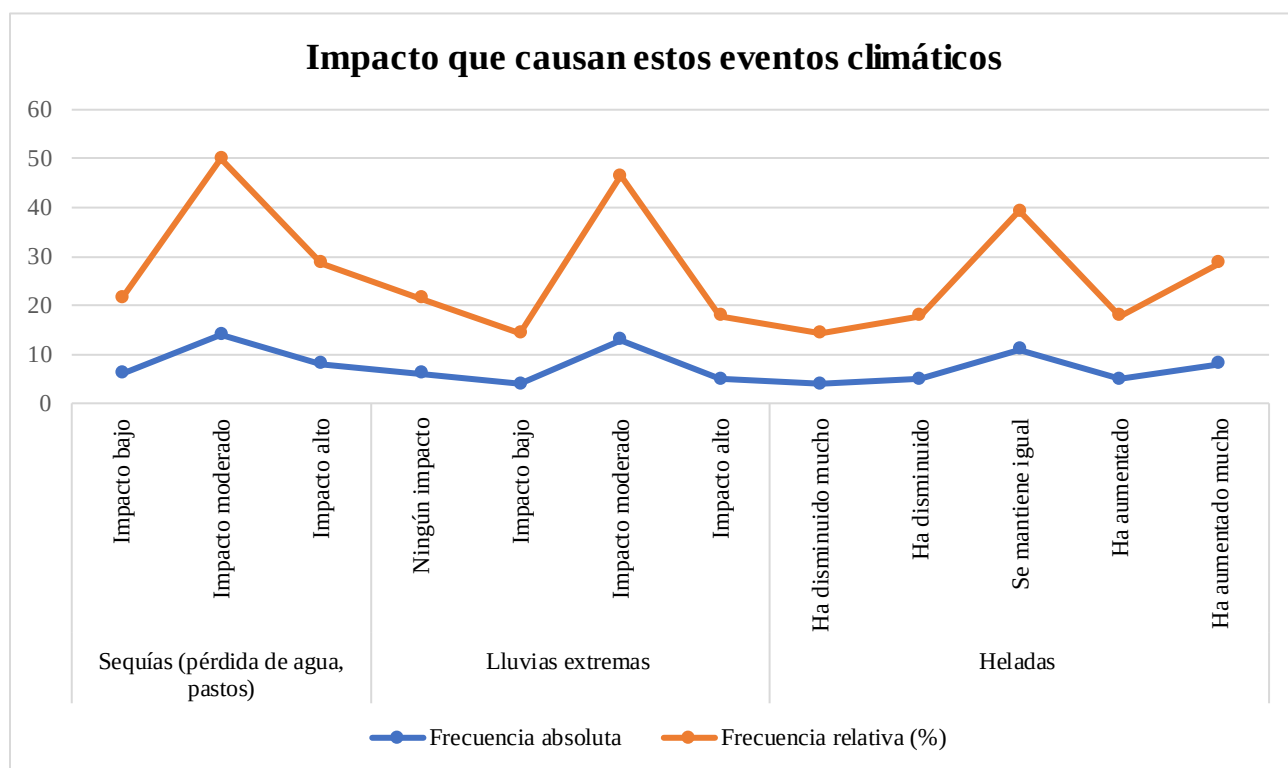
9. Indique el nivel de afectación (daño) que causan estos eventos climáticos directamente en la seguridad de su hogar:

Tabla 10: afectación que causan estos eventos climáticos

Evento	Frecuencia	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sequías (pérdida de agua, pastos)	Impacto bajo	6	21,4
	Impacto moderado	14	50,0
	Impacto alto	8	28,6
Total		28	100,0
Lluvias extremas	Ningún impacto	6	21,4
	Impacto bajo	4	14,3
	Impacto moderado	13	46,4
	Impacto alto	5	17,9
Total		28	100,0
Heladas	Ha disminuido mucho	4	14,3
	Ha disminuido	5	17,9
	Se mantiene igual	11	39,3
	Ha aumentado	5	17,9
	Ha aumentado mucho	8	28,6
Total		28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la evaluación comunitaria sobre el nivel de impacto de los eventos climáticos en la zona.

Gráfico 2. Impacto que causan los eventos climáticos



Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría de las respuestas se concentraron en impactos de nivel bajo a moderado, aunque un porcentaje significativo identificó afectaciones elevadas en recursos como el agua, los cultivos y la infraestructura. Esto muestra que los eventos climáticos son percibidos como amenazas capaces de comprometer la seguridad y economía de los hogares, lo que hace necesario fortalecer actualmente las estrategias de adaptación y gestión del riesgo relacionadas con el manejo del páramo.

BLOQUE III – DIMENSIÓN ECONÓMICA

10. ¿Cuál es la importancia del páramo para la actividad económica principal de su familia?

Tabla 11: Importancia en la actividad económica

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Muy importante	22	78,6
Importante	6	21,4
Poco importante	0	0,0
Sin importancia	0	0,0
Total	28	100,0

Nota: Importancia que tiene el páramo para la actividad económica en las familias.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Casi todas las personas encuestadas señalaron que el páramo es importante o muy importante para sus actividades económicas, especialmente agrícolas y ganaderas. Este resultado evidencia que hoy la economía local depende de forma directa de los servicios que provee el páramo, por ello, su posible deterioro implicaría riesgos económicos considerables, lo que respalda la necesidad de integrarlo dentro de la planificación del desarrollo local.

11. ¿Actualmente, paga mensualmente por el servicio de agua que recibe?

Tabla 12: Pago por el servicio de agua

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sí	25	89,3
No	3	10,7
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos por parte de la evaluación a la comunidad si pagan o no por el servicio.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría de los hogares indicó que realiza un pago mensual por el agua, mientras que solo una minoría no paga por este servicio. Esta situación muestra que existe una predisposición existente para asumir los costos asociados al acceso al recurso hídrico, lo que crea una oportunidad para desarrollar mecanismos financieros locales enfocados en la conservación del páramo.

¿Cuánto paga por este servicio?

Tabla 13: Valor que cancelan mensualmente por este servicio

Valor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
\$ 1,50	2	7,1
\$2,00	2	7,1
\$2,50	9	32,1
\$3,00	1	3,6
\$5,00	14	50,0
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta sobre el pago mensual actual que realizan las personas por el servicio de agua.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Los montos se concentraron en valores intermedios y relativamente altos dentro del rango propuesto, destacando pagos cercanos a cinco dólares y, en otros casos, entre dos y tres dólares. Esto evidencia que las contribuciones económicas constituyen un indicador tangible de la capacidad y voluntad de pago de la comunidad, información que resulta valiosa para el diseño de futuros mecanismos de financiamiento orientados a la conservación.

12. Si se implementara un programa comunitario de restauración y vigilancia del APH para asegurar que el agua no escasee en el futuro, ¿Cuánto dinero estaría dispuesto a aportar mensualmente su hogar para este fondo de conservación hídrica?

Tabla 14: Implementación de programas comunitarios para la restauración

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
No estoy dispuesto a pagar nada (\$0,00 USD)	1	3,6
Entre \$0,01 y \$3,00 USD mensuales	23	82,1
Entre \$3,01 y \$6,00 USD mensuales	3	10,7
Más de \$6,00 USD mensuales	1	3,6
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta sobre la disposición a pagar (DAP) mensual de los hogares para la conservación hídrica del APH.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría mostró su disposición a aportar mensualmente montos bajos o moderados a un fondo comunitario de conservación hídrica, mientras que solo un grupo muy pequeño se mostró reacio a contribuir o dispuesto a pagar valores superiores. Este comportamiento confirma que existe actualmente una disposición a pagar positiva por la conservación del páramo, lo cual representa un elemento fundamental para diseñar fondos comunitarios o esquemas de compensación por servicios ambientales.

13. ¿Si el páramo se deteriora y sus servicios disminuyeran, ¿cómo afectaría eso en su vida diaria?

Tabla 15: Afectación por deterioro del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Pérdida de acceso a recursos naturales directos	6	21,4
Insuficiencia en el suministro de agua potable	11	39,3
Reducción de oportunidades laborales y económicas	6	21,4
Afectación a la producción agropecuaria	5	17,9
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta sobre la afectación de la vida diaria en la comunidad por deterioro del páramo.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Las personas encuestadas identificaron como principal consecuencia del deterioro del páramo la insuficiencia de agua potable, seguida por la pérdida de recursos naturales y la reducción de oportunidades económicas. Esto revela que la comunidad es consciente de que su bienestar diario depende directamente de los servicios ecosistémicos del páramo, especialmente del recurso hídrico, lo que refuerza la urgencia de medidas preventivas de conservación.

14. ¿Si en lugar de conservar el páramo se promovieran actividades que lo degraden (minería, expansión agrícola intensiva), qué compensación económica mensual aceptaría usted?

Tabla 16: Compensación dispuesto a recibir

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Ninguna; no aceptaría compensación	18	64,3
Menos de \$5 mensuales	2	7,1
Entre \$6 y \$15 mensuales	1	3,6
Más de \$31 mensuales	7	25,0
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta de recibir una compensación económica mensual por la degradación ambiental del páramo.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La mayoría declaró que no aceptaría ninguna compensación económica mensual a cambio de permitir actividades que degradaran el páramo, frente a una minoría que aceptaría montos bajos o más altos. Esto revela que, para una gran parte de la comunidad, el páramo es percibido como un bien no negociable, lo que otorga un respaldo social fuerte a las restricciones de uso.

15. ¿Qué tipo de apoyo o forma de compensación considera más adecuada para que la comunidad participe activamente en la conservación del páramo?

Tabla 17: Compensación para que la comunidad participe en la conservación del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
-------------------------	---------------------	-------------------------

Capacitaciones por parte de instituciones (gobierno, ONG, MAATE)	14	50,0
Herramientas y recursos materiales para actividades de conservación	3	10,7
Formación específica en manejo ambiental y páramo	3	10,7
Programas de apoyo para actividades agrícolas o ganaderas sostenibles	3	10,7
Mejoras en infraestructura comunitaria (escuelas, centros de salud, vías)	3	10,7
Financiamiento para proyectos productivos	2	7,1
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta de recibir apoyo o forma de compensación para que la comunidad participe activamente en la conservación del páramo.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Cerca de la mitad de las personas priorizó capacitaciones por parte de instituciones públicas u organizaciones, mientras que el resto solicitó herramientas, apoyo productivo sostenible, infraestructura y financiamiento. Esto indica que la comunidad reconoce la capacitación como requisito clave para involucrarse en la conservación, pero también demanda apoyos materiales que permitan traducir ese conocimiento en prácticas concretas en el territorio.

BLOQUE IV – DIMENSIÓN CULTURAL

16. ¿El páramo tiene algún significado cultural, espiritual o identitario para usted o su familia?

Tabla 18: Significado cultural del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sí	25	89,3
No	3	10,7
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la consulta sobre el valor cultural, espiritual e identitario asignado al ecosistema de páramo por las familias.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: La gran mayoría de las personas encuestadas afirmó que el páramo tiene un significado cultural, espiritual o identitario en sus vidas. Esto nos indicó que ven el páramo como un lugar con mucho significado, por lo que cuando se toman decisiones sobre cómo cuidarlo, hay que considerar también su importancia cultural y no solo cómo proteger el medio ambiente.

17. ¿Existen prácticas o conocimientos ancestrales en su comunidad relacionados con el cuidado del páramo?

Tabla 19: Prácticas ancestrales relacionadas al cuidado del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Sí	14	50,0
No	14	50,0
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la identificación de prácticas o conocimientos ancestrales comunitarios orientados al cuidado del páramo.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Las respuestas se dividieron por igual entre quienes reconocieron prácticas o conocimientos ancestrales de cuidado del páramo y quienes dijeron no identificarlos. Esta situación resalta la necesidad de documentar, fortalecer y revalorizar estas prácticas para garantizar su preservación y transmisión a futuras generaciones.

18. ¿Considera usted que proteger legal y comunitariamente el páramo bajo la figura de APH ayuda a mantener vivas las costumbres, tradiciones y la identidad de la comunidad de Cruz de Ventanas?

Tabla 20: Protección legal y comunitaria del páramo

Categoría de valoración	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Totalmente de acuerdo	23	82,1
De acuerdo	5	17,9
Total	28	100,0

Nota: Datos obtenidos a partir de la valoración sobre el impacto de la figura de APH en la preservación de costumbres, tradiciones e identidad de la comunidad.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Interpretación: Casi todas las personas estuvieron de acuerdo en que el Área de Protección Hídrica contribuye a preservar las costumbres, tradiciones e identidad de la comunidad. Este reconocimiento indica que la figura de APH se percibe actualmente no solo como un instrumento ambiental, sino también como una herramienta social y cultural, lo que refuerza su legitimidad y su potencial para articular conservación e identidad local.

4.2.1 Método de Valoración Contingente y cálculo de la Disposición A Pagar (DAP).

Para estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos hidrológicos que provee el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, se aplicó el método de valoración

contingente, el cual se basa en encuestas estructuradas que plantean escenarios hipotéticos de conservación o degradación del ecosistema. En este estudio, se formuló un escenario en el que se propone la implementación de un programa comunitario de restauración y vigilancia del Área de Protección Hídrica (APH), con el objetivo de asegurar la disponibilidad de agua para la comunidad en el futuro, y se consultó a los hogares cuánto estarían dispuestos a aportar mensualmente a un fondo de conservación hídrica.

La ecuación general empleada para obtener el valor económico total del servicio ecosistémico es la siguiente:

$$V = \bar{X} \times N \times T$$

Donde V corresponde al valor económico total del servicio ecosistémico, $\bar{X}$ representa el promedio de la disposición a pagar (DAP), N es el número total de beneficiarios del servicio y T es el periodo de análisis expresado en meses. Esta formulación es ampliamente utilizada en estudios de valoración ambiental para cuantificar el valor monetario asociado a la conservación o degradación de bienes ambientales (Álvarez & Urbina, 2022).

En primer lugar, se calculó la disposición a pagar promedio mensual por hogar a partir de los 28 jefes de hogar encuestados, con esta ecuación:

$$DAP_{prom} = \frac{\sum(monto_i \times n_i)}{N}$$

Donde $monto_i$ es el valor monetario representativo asociado a cada categoría de respuesta de la encuesta, n_i es el número de hogares que seleccionó dicha categoría y N es el total de hogares encuestados.

Al aplicar la ecuación de la DAP promedio, se multiplicó cada valor representativo por el número de hogares correspondiente y se sumaron los resultados parciales:

$$0,00 \text{ USD} \times 1 \text{ hogar} = 0,00 \text{ USD}$$

$$1,50 \text{ USD} \times 23 \text{ hogares} = 34,50 \text{ USD}$$

$$4,50 \text{ USD} \times 3 \text{ hogares} = 13,50 \text{ USD}$$

$$7,00 \text{ USD} \times 1 \text{ hogar} = 7,00 \text{ USD}$$

La suma total de los montos declarados fue de 55,00 USD mensuales para los 28 hogares encuestados, al sustituir en la ecuación se obtiene:

$$DAP_{prom} = \frac{55,00 \text{ USD}}{28 \text{ hogares}} = \mathbf{1,96 \text{ USD/mes por hogar}}$$

Una vez obtenida la DAP promedio, se procedió a estimar el valor económico total anual del servicio ecosistémico de provisión de agua del páramo, considerando que el número total de hogares beneficiarios del sistema de agua coincide con el total de 28 encuestados. Para ello, se utilizó la ecuación general del método de valoración contingente:

$$V_{total} = DAP_{prom} \times N_{beneficiarios} \times T$$

Donde DAP_{prom} es la disposición a pagar promedio mensual por hogar que es de 1,96 USD/mes por hogar, $N_{beneficiarios} = 28$ hogares y $T=12$ meses para obtener un valor anual. Al sustituir los valores se obtiene:

$$V_{total} = 1,96 \text{ USD/mes por hogar} \times 28 \text{ hogares} \times 12 \text{ meses}$$

$$V_{total} = \mathbf{658,56 \text{ USD/año}}$$

Interpretación: Los resultados obtenidos muestran que la gran mayoría de los hogares encuestados está dispuesta a aportar económicamente para la conservación del Área de Protección Hídrica del páramo de Cruz de Ventanas, de los 28 hogares encuestados, 27 manifestaron su voluntad de contribuir con un aporte mensual, mientras que solo 1 indicó no estar dispuesto a hacerlo.

El cálculo de la Disposición a Pagar promedio dio como resultado un valor de 1,96 USD por hogar al mes. Este valor representa cuánto están dispuestas a aportar los hogares para conservar los servicios que ofrece el páramo, especialmente aquellos relacionados con el agua. Esto también evidencia que la comunidad es consciente de su dependencia del páramo y de los beneficios que recibe de él en su día a día.

Al proyectar este valor a todos los hogares beneficiarios durante un año, se obtiene un monto aproximado de 658,56 USD anuales. Esta cifra permite tener una idea del valor económico que la comunidad le da a la conservación del sistema hídrico y puede servir como base para proponer iniciativas locales de financiamiento orientadas a la protección, restauración y monitoreo del páramo.

En general, los resultados reflejan que la comunidad Cruz de Ventanas reconoce la importancia de conservar el Área de Protección Hídrica y no están dispuestos a obtener una compensación monetaria a través de actividades como: minería o expansión agrícola intensiva, que lo degraden. Lo que demuestra que su conservación es vista como una necesidad para asegurar el bienestar presente y futuro del territorio.

4.3 Resultado del objetivo 3:

Relacionar las posibles variaciones en las condiciones ambientales y el comportamiento de la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica ante escenarios de cambio climático, mediante la integración de variables climáticas e indicadores de respuesta ecosistémica, para identificar sus posibles implicaciones sobre la provisión y regulación de los servicios ecosistémicos.

El análisis correspondiente al tercer objetivo permitió determinar rangos de referencia estadísticos de las condiciones hidro climáticas y de la cobertura vegetal del Área de Protección hídrica (APH) Cruz de Ventanas, a partir del comportamiento histórico registrado durante el período 2017 – 2025; para ello, se analizaron las variables de precipitación, humedad del suelo, Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), temperatura mínima y temperatura máxima, complementadas con el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como indicador de la respuesta de la cobertura vegetal.

A partir de las series históricas se calcularon estadísticos descriptivos y percentiles, particularmente el P25 y P75, con el propósito de establecer rangos relativos de referencia propios del área de estudio; estos rangos permiten diferenciar valores históricamente bajos, intermedios y altos dentro de la distribución de cada variable, por lo que no se interpretan como umbrales ecológicos universales ni como límites fisiológicos de la vegetación.

Posteriormente, los rangos históricos obtenidos se utilizaron como referencia para contrastar las condiciones climáticas proyectadas para el período 2021 – 2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585; esta comparación permitió identificar los cambios en la posición de las variables proyectadas respecto a su comportamiento histórico y discutir sus

posibles implicaciones sobre los servicios ecosistémicos identificados en el área de Protección Hídrica.

4.3.1 Comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas (2017-2025)

Para establecer una línea base de las condiciones ambientales del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, se analizó el comportamiento histórico de las principales variables climáticas e hidrológicas durante el periodo 2017 – 2025, al tener en cuenta la precipitación, la humedad del suelo y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), debido a que estas variables permiten aproximarse a las condiciones de disponibilidad hídrica presentes en el área de estudio. De manera complementaria, se incorporaron las variables de temperatura mínima y máxima como parte de la caracterización de las condiciones climáticas registradas durante el período analizado.

La información fue organizada a partir de la serie histórica disponible y analizada mediante estadísticos descriptivos, considerando la media, los valores mínimo y máximo, la desviación estándar y los percentiles 25 (P25) y 75 (P75), permitiendo conocer tanto el comportamiento general de las variables como el rango de variación registrado durante el período de estudio.

Para este análisis se utilizaron los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) como puntos de referencia estadísticos del área de estudio; el P25 delimita el 25% de los registros más bajos, mientras que el P75 abarca hasta el 75% de los datos acumulados. Con base en esto, los valores menores al P25 se catalogaron como condiciones históricamente bajas, los ubicados entre el P25 y P75 como condiciones intermedias o normales y los superiores al P75 como

condiciones históricamente altas; esta clasificación es específica para la zona evaluada y no como un parámetro ecológico de aplicación general.

La utilización de estos rangos resulta importante para el análisis posterior, ya que permite comparar las condiciones históricas del ecosistema con las proyecciones climáticas correspondientes al periodo 2021 – 2040, de esta manera los escenarios futuros no se interpretan de forma aislada, sino en relación al comportamiento climático registrado previamente en el área de estudio.

4.3.1.1 Comportamiento histórico de la precipitación

La precipitación constituye una de las variables hidroclimáticas consideradas para caracterizar las condiciones históricas del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, su análisis permitió identificar la variabilidad de los registros durante el período 2017–2025 y establecer rangos estadísticos de referencia propios del área de estudio, los cuales posteriormente fueron utilizados para contrastar las condiciones proyectadas bajo los escenarios SSP245 y SSP585.

Durante el período analizado, la precipitación presentó valores entre 17,10 y 141,60 mm, con una media de 62,13 mm y una desviación estándar de 29,61 mm; el P25 se ubicó en 42,08 mm, mientras que el P75 alcanzó 78,63 mm. Estos resultados muestran una variabilidad importante de la precipitación a lo largo de la serie histórica, con registros que se distribuyen desde valores inferiores a 42,08 mm hasta valores superiores a 78,63 mm.

A partir de los percentiles obtenidos, los registros inferiores a 42,08 mm se consideraron como valores relativamente bajos dentro de la distribución histórica, mientras que aquellos comprendidos entre 42,08 y 78,63 mm corresponden al rango intermedio de la

serie. Por su parte, los valores superiores a 78,63 mm representan registros relativamente altos respecto al comportamiento histórico del área de estudio; esta clasificación constituye una referencia estadística local y no debe interpretarse como un umbral ecológico o como un límite de disponibilidad hídrica para el ecosistema.

Tabla 21. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la precipitación del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025

Variable	Valor mínimo	P25	Media	P75	Valor máximo	Desviación estándar
Precipitación (mm)	17,10	42,08	62,13	78,63	141,60	29,61

Nota: Los valores corresponden a la serie histórica analizada para el período 2017–2025. El P25 y el P75 se utilizaron como referencias estadísticas para diferenciar valores relativamente bajos, intermedios y altos dentro de la distribución de la precipitación.

Fuente: TerraClimate (2017 – 2025)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

En términos de la distribución histórica, los valores inferiores al P25 representan el sector inferior de la serie, mientras que los valores superiores al P75 corresponden al sector superior. Esta diferenciación permite contar con una base estadística para comparar posteriormente la precipitación proyectada para 2021–2040 y determinar si los valores futuros se mantienen dentro de los rangos observados históricamente o se desplazan hacia valores inferiores o superiores.

4.3.1.2 Humedad del suelo

La humedad del suelo fue considerada como una variable hidro climática complementaria para caracterizar las condiciones de disponibilidad de agua en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, su análisis permitió describir la variabilidad registrada durante el período 2017–2025 y establecer rangos estadísticos de referencia que

posteriormente sirven como base para la comparación con las condiciones hidro climáticas proyectadas.

Durante el período de estudio, la humedad del suelo presentó valores entre 15,60 y 112,40, con una media de 69,06 y una desviación estándar de 32,48; el P25 se ubicó en 40,75, mientras que el P75 alcanzó un valor de 100,38, la amplitud observada entre los valores mínimo y máximo evidencia una variación considerable de la humedad del suelo a lo largo de la serie histórica.

Considerando la distribución de los datos, los registros inferiores a 40,75 corresponden a valores relativamente bajos dentro de la serie histórica, mientras que aquellos comprendidos entre 40,75 y 100,38 se encuentran dentro del rango intermedio; los valores superiores a 100,38 representan registros relativamente altos respecto de la distribución histórica del área de estudio.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la humedad del suelo del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025

Variable	Valor mínimo	P25	Media	P75	Valor máximo	Desviación estándar
Humedad del suelo (mm)	15,60	40,75	69,06	100,38	112,40	32,48

Fuente: TerraClimate (2017 – 2025)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

En este sentido, los percentiles permiten establecer una referencia estadística propia del área de estudio para describir la variabilidad de la humedad del suelo. Los valores inferiores al P25 representan el sector inferior de la distribución, mientras que los superiores al P75 corresponden al sector superior. Esta clasificación será utilizada posteriormente para

contrastar las condiciones históricas con las demás variables hidro climáticas y con los escenarios climáticos proyectados.

4.3.1.3 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) se incorporó al análisis para caracterizar las condiciones de humedad y sequedad registradas en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025; a diferencia del análisis individual de la precipitación y la humedad del suelo, este índice permite representar condiciones relativas de déficit o exceso de humedad, de manera que los valores negativos corresponden a condiciones de mayor sequedad, los valores positivos indican condiciones de mayor humedad y aquellos próximos a cero representan situaciones cercanas a la normalidad, de acuerdo con la clasificación propuesta por Palmer (1965).

Para la serie histórica del área de estudio se calcularon los estadísticos descriptivos y los percentiles P25 y P75, estos últimos fueron utilizados como referencias estadísticas para diferenciar la posición relativa de los registros dentro de la distribución histórica de Cruz de Ventanas, mientras que la clasificación de Palmer (1965) se mantuvo como referencia para interpretar el significado de los valores alcanzados por el índice. Esta diferenciación permitió evitar que los percentiles obtenidos para el área de estudio fueran considerados como nuevos umbrales de sequía o humedad. Los resultados se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia del PDSI del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025

Variable	Valor mínimo	P25	Media	P75	Valor máximo	Desviación estándar
PDSI	-5,81	-3,15	-0,60	2,63	5,13	3,06

Nota: Los valores corresponden a la serie histórica mensual del PDSI durante el período 2017–2025. Los percentiles P25 y P75 representan referencias estadísticas de la distribución histórica del área de estudio y no sustituyen las categorías de humedad y sequedad establecidas para la interpretación del PDSI.

Fuente: TerraClimate (2017 – 2025)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Los resultados muestran una amplitud considerable en el comportamiento histórico del PDSI, con registros que variaron entre $-5,81$ y $5,13$ y una media de $-0,60$. La desviación estándar de $3,06$ evidencia la variabilidad de las condiciones de humedad y sequedad durante el período analizado. En cuanto a la distribución de los datos, el P25 se ubicó en $-3,15$ y el P75 en $2,63$; por tanto, los valores inferiores a $-3,15$ corresponden al 25 % de los registros relativamente más secos de la serie histórica, aquellos comprendidos entre $-3,15$ y $2,63$ representan el 50 % central de las observaciones, mientras que los valores superiores a $2,63$ corresponden al 25 % de los registros relativamente más húmedos.

La interpretación de estos resultados se complementó con la clasificación del PDSI propuesta por Palmer (1965), debido a que los percentiles describen la posición relativa de los datos dentro de la serie histórica de Cruz de Ventanas, pero no establecen por sí mismos la intensidad de una condición de sequía o humedad. De acuerdo con esta clasificación, el valor mínimo registrado de $-5,81$ corresponde a una condición de sequía extrema, mientras que el máximo de $5,13$ representa una condición extremadamente húmeda. Por su parte, la media de $-0,60$ se encuentra dentro del intervalo correspondiente al inicio de un período seco. Asimismo, el P25 de $-3,15$ se ubica dentro de la categoría de sequía severa y el P75 de $2,63$ corresponde a una condición moderadamente húmeda.

La correspondencia entre los percentiles y las categorías de Palmer permite contextualizar los rangos estadísticos obtenidos sin modificar el significado original del índice. En este sentido, el valor de $-3,15$ no se estableció como un nuevo umbral ecológico

de sequía para Cruz de Ventanas, sino como el límite del 25 % inferior de su distribución histórica que, adicionalmente, se encuentra dentro de la categoría de sequía severa según Palmer. De forma equivalente, el valor de 2,63 representa el límite del 25 % superior de la distribución y se ubica dentro de la categoría moderadamente húmeda. Esta diferenciación resulta necesaria para distinguir entre los rangos estadísticos propios de la serie analizada y las categorías utilizadas para interpretar el significado climático del PDSI.

En conjunto, los resultados evidencian que el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas experimentó durante 2017–2025 condiciones contrastantes de humedad y sequedad, incluyendo registros comprendidos desde sequía extrema hasta condiciones extremadamente húmedas. Por esta razón, el PDSI se consideró conjuntamente con la precipitación y la humedad del suelo en los análisis posteriores, permitiendo caracterizar de manera integrada las condiciones hidroclimáticas asociadas temporalmente con las variaciones observadas en la cobertura vegetal, sin atribuir a una sola variable el comportamiento del ecosistema.

4.3.1.4 Temperatura mínima

La temperatura mínima se incorporó al análisis para caracterizar la variabilidad térmica del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025; esta variable permite describir las condiciones de temperatura registradas durante los períodos de menor temperatura y establecer una referencia estadística para posteriormente comparar estos valores con las condiciones proyectadas bajo los escenarios de cambio climático.

Durante el período analizado, la temperatura mínima presentó valores entre $-0,70\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $2,70\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una media de $0,93\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar de $0,81\text{ }^{\circ}\text{C}$. El P25 se ubicó

en 0,40 °C, mientras que el P75 alcanzó 1,50 °C, la diferencia entre los valores mínimo y máximo evidencia una variación térmica dentro de la serie histórica analizada.

A partir de los percentiles obtenidos, los registros inferiores a 0,40 °C corresponden a valores relativamente bajos dentro de la distribución histórica, mientras que aquellos comprendidos entre 0,40 °C y 1,50 °C se encuentran dentro del rango intermedio, mientras que los valores superiores a 1,50 °C representan registros relativamente altos respecto al comportamiento histórico de la temperatura mínima en el área de estudio.

Tabla 24. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la temperatura mínima del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025

Variable	Valor mínimo	P25	Media	P75	Valor máximo	Desviación estándar
Tmin	-0,7	0,4	0,93	1,50	2,7	0,81

Fuente: TerraClimate (2017 – 2025)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

En este sentido, los percentiles permiten establecer una referencia estadística propia del área de estudio para describir la variabilidad de la temperatura mínima. Los valores inferiores al P25 representan el sector inferior de la distribución, mientras que los superiores al P75 corresponden al sector superior; esta clasificación se empleará posteriormente como referencia para contrastar las temperaturas mínimas proyectadas para el período 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585.

Por tanto, los valores ubicados por debajo o por encima de los percentiles establecidos no se interpretan por sí mismos como condiciones desfavorables o favorables para la cobertura vegetal, sino como posiciones relativas dentro de la distribución histórica de la

temperatura mínima. Su interpretación frente a los posibles cambios climáticos se realizará posteriormente mediante la comparación entre el período histórico y las proyecciones futuras.

4.3.1.5 Temperatura máxima

La temperatura máxima fue incorporada al análisis con el propósito de caracterizar la variabilidad de las condiciones térmicas registradas en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025, su comportamiento permite complementar la caracterización térmica del área de estudio y establecer una referencia estadística para la posterior comparación con las temperaturas máximas proyectadas bajo los escenarios SSP245 y SSP585.

Durante el período analizado, la temperatura máxima presentó valores comprendidos entre 10,10 °C y 12,90 °C, con una media de 11,64 °C y una desviación estándar de 0,70 °C. El P25 se ubicó en 11,20 °C, mientras que el P75 alcanzó 12,30 °C. Estos resultados evidencian una variación de la temperatura máxima dentro de la serie histórica, con una diferencia de 2,80 °C entre el valor mínimo y el máximo registrado.

A partir de los percentiles obtenidos, los registros inferiores a 11,20 °C corresponden a valores relativamente bajos dentro de la distribución histórica, mientras que aquellos comprendidos entre 11,20 °C y 12,30 °C se encuentran dentro del rango intermedio. Los valores superiores a 12,30 °C representan registros relativamente altos respecto al comportamiento histórico de la temperatura máxima en el área de estudio.

Tabla 25. Estadísticos descriptivos y rangos históricos de referencia de la temperatura máxima del APH Cruz de Ventanas 2017 - 2025

Variable	Valor mínimo	P25	Media	P75	Valor máximo	Desviación estándar
Tmax	10,10	11,20	11,64	12,30	12,90	0,70

Fuente: TerraClimate (2017 – 2025)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

En consecuencia, los percentiles permiten establecer un rango estadístico de referencia propio del área de estudio, los valores inferiores a 11,20 °C representan el sector inferior de la distribución, los comprendidos entre 11,20 °C y 12,30 °C corresponden al sector intermedio y aquellos superiores a 12,30 °C representan el sector superior de la serie histórica.

Esta clasificación se utilizará posteriormente para contrastar las temperaturas máximas proyectadas para el período 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585; de esta manera, será posible determinar si los valores proyectados se mantienen dentro de los rangos observados históricamente o si presentan un desplazamiento hacia valores superiores o inferiores respecto de la línea base.

Tabla 26. Rangos históricos de referencia para la interpretación de las condiciones ambientales del APH Cruz de Ventanas

Variable	P25	P75	Condición históricamente inferior	Rango intermedio	Condición históricamente superior
Precipitación	42,08 mm	78,63 mm	<42,08 mm	42,08 – 78,63 mm	>78, 63 mm
Humedad del suelo	40,75	100,38	<40,75	40,75 – 100,38	>100,38
PDSI	-3,15	2,63	< -3,15	-3,15 – 2,63	>2,63

Tmin	0,40 °C	1,50 °C	<0,40 °C	0,40 – 1,50 °C	>1,50 °C
Tmax	11,20 °C	12,30 °C	<11,20 °C	11,20 – 12,30 °C	>12,30 °C

Nota: Los rangos corresponden a referencias estadísticas derivadas de la distribución histórica de cada variable durante 2017 – 2025 y no constituyen límites ecológicos universales.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

4.3.2 Comportamiento histórico del NDVI (2017 – 2025)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se utilizó como indicador de la variación temporal de la respuesta espectral de la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica (APH) Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025. Este índice permitió examinar los cambios registrados en la cobertura vegetal a lo largo de la serie histórica y complementar el análisis de las condiciones hidroclicmáticas desarrollado previamente. Su aplicación como indicador de la dinámica de la vegetación es consistente con investigaciones realizadas en ecosistemas de páramo ecuatoriano, donde el NDVI ha sido empleado para caracterizar la variabilidad temporal de la cobertura vegetal y analizar su relación con variables hidrometeorológicas (Villarreal-Veloz et al., 2023).

Para el análisis de la cobertura vegetal se utilizó como fuente secundaria la base de datos generada por Gómez Pozo y Martínez Espín (2026), dentro del mismo proyecto de investigación, en el trabajo 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*. La base original estuvo conformada por 142 observaciones de NDVI correspondientes a fechas disponibles entre 2017 y 2025, derivadas de imágenes Sentinel-2. Debido a que en determinados meses se registró más de una observación, los valores correspondientes al mismo mes y año fueron integrados mediante su media aritmética,

obteniéndose una serie de 90 observaciones mensuales, lo que permitió trabajar con una escala temporal homogénea y mantener correspondencia con la resolución mensual de las variables hidroclimáticas analizadas posteriormente.

A partir de las 90 observaciones mensuales se calcularon los percentiles 25 (P25) y 75 (P75), con el propósito de establecer referencias estadísticas para describir el comportamiento histórico del NDVI en el área de estudio. El P25 se ubicó en 0,45 y el P75 en 0,55. Estos valores representan la posición relativa de las observaciones dentro de la distribución histórica mensual y, por tanto, fueron considerados inicialmente como límites estadísticos de referencia y no como umbrales ecológicos absolutos del estado de la vegetación.

De acuerdo con esta distribución, los valores inferiores a 0,45 corresponden al rango histórico inferior de la serie, aquellos comprendidos entre 0,45 y 0,55 representan el rango histórico intermedio y los valores superiores a 0,55 corresponden al rango histórico superior. Bajo esta clasificación se identificaron 23 observaciones mensuales en el rango inferior, 44 en el rango intermedio y 23 en el rango superior. Estas denominaciones describen exclusivamente la posición de cada registro respecto de la distribución histórica del NDVI y no implican, por sí mismas, que los valores inferiores representen degradación o que los superiores correspondan a condiciones favorables o de recuperación de la cobertura vegetal.

Tabla 27. Rangos estadísticos de referencia del NDVI y del APH Cruz de Ventanas, 2017 - 2025

Indicador	Valor
Número de observaciones mensuales	90
P25	0,45
P75	0,55
Observaciones <P25	23
Observaciones entre P25 y P75	44
Observaciones >P75	23

Nota: Los percentiles P25 y P75 fueron calculados a partir de las 90 observaciones mensuales obtenidas mediante la integración de los registros de NDVI correspondientes al mismo mes y año. Estos valores representan referencias estadísticas internas de la serie histórica y no constituyen, por sí mismos, categorías ecológicas del estado de la vegetación.

Fuente: (Gomez Pozo y Martínez Espín, 2026)

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

La interpretación ecológica de estos rangos requiere considerar las características de la cobertura vegetal presente en Cruz de Ventanas, debido a que un mismo valor de NDVI no representa necesariamente una condición equivalente para diferentes tipos de vegetación. En el levantamiento realizado en el área de estudio se identificó al pajonal como una de las formaciones predominantes, con presencia destacada de *Calamagrostis intermedia* como especie estructural, además de otras gramíneas como *Calamagrostis steyermarkii*. También se registró vegetación de almohadilla, representada, entre otras especies, por *Azorella pedunculata*. Estas formaciones presentan diferencias en su estructura, densidad y disposición de la cobertura, por lo que la respuesta espectral registrada mediante NDVI debe interpretarse considerando dichas características y no exclusivamente a partir de límites numéricos generales.

En este sentido, los valores de P25 y P75 obtenidos en Cruz de Ventanas fueron utilizados para describir la variabilidad histórica del índice y posteriormente contrastados con antecedentes científicos desarrollados en ecosistemas de páramo. No se asignó un valor específico de NDVI a cada especie, debido a que los registros derivados de Sentinel-2

representan la respuesta espectral integrada de la cobertura contenida en cada píxel y no la respuesta individual de una planta. Por esta razón, la interpretación de los rangos inferior, intermedio y superior se realizó considerando conjuntamente la estructura de las principales formaciones vegetales, los antecedentes disponibles para ecosistemas de páramo y las condiciones hidroclimáticas concurrentes.

4.3.2.1 Sustentación bibliográfica de los rangos de NDVI según la cobertura vegetal

Con el propósito de complementar los rangos estadísticos obtenidos mediante los percentiles P25 y P75, se realizó una revisión bibliográfica orientada a las principales formaciones vegetales identificadas en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, particularmente el pajonal, representado por *Calamagrostis intermedia*, y la vegetación de *almohadilla*, dentro de la cual se encuentra *Azorella pedunculata*. Esta revisión permitió contrastar los valores obtenidos para el área de estudio con antecedentes desarrollados en ecosistemas de páramo y, al mismo tiempo, evitar que los percentiles calculados sean interpretados directamente como límites universales del estado de la vegetación.

En los páramos ecuatorianos, el pajonal constituye una de las formaciones vegetales predominantes y se encuentra asociado principalmente con gramíneas de géneros como *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*. (Villarreal-Veloz et al., 2023), mediante el análisis de 18 años de información satelital MODIS en diez áreas representativas del páramo ecuatoriano, estudiaron la dinámica temporal del NDVI de los pajonales y determinaron que su respuesta espectral presenta variaciones espaciales y temporales relacionadas con las condiciones hidrometeorológicas, particularmente con la disponibilidad de agua, la precipitación y la temperatura del suelo. Los autores también reconocen la diferenciación

existente entre el páramo de pajonal y las formaciones de almohadilla, señalando la presencia de *Azorella pedunculata* como componente representativo de estas últimas. Por consiguiente, la interpretación del NDVI en ecosistemas de páramo requiere considerar el tipo de cobertura vegetal y las condiciones ambientales bajo las cuales se registra el índice, en lugar de asumir un único valor aplicable a todas las formaciones vegetales.

Para *Calamagrostis intermedia* se identificó además un antecedente cuantitativo reciente en un ecosistema altoandino ecuatoriano. (Muñoz-Jácome et al., 2026), en el humedal Potrerillo de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, analizaron la cobertura vegetal y la actividad fotosintética mediante sensores multiespectrales y registraron valores de NDVI comprendidos entre 0,60 y 0,80, interpretados en dicho estudio como indicativos de una elevada actividad fotosintética. Dentro de la composición florística evaluada se registró *Calamagrostis intermedia*. Este intervalo constituye una referencia cuantitativa de una comunidad vegetal altoandina en la que está presente la especie; sin embargo, no debe considerarse como un umbral fisiológico exclusivo de *C. intermedia*, debido a que el NDVI registrado corresponde a la respuesta espectral conjunta de la cobertura vegetal analizada y no a mediciones individuales de la especie.

En cuanto a la vegetación de almohadilla, (Villarreal-Veloz et al., 2023) reconocen a *Azorella pedunculata* como una especie representativa de este tipo de formación en los páramos ecuatorianos. No obstante, la revisión bibliográfica realizada no permitió identificar un intervalo de NDVI establecido y validado específicamente para *A. pedunculata* que permita definir condiciones inferiores, intermedias o superiores de la especie a partir de valores numéricos determinados. Por esta razón, no resulta metodológicamente adecuado asignar a *A. pedunculata* un umbral de NDVI que no haya

sido establecido mediante estudios espectrales específicos. Su consideración dentro de la presente investigación se realiza como parte de la estructura de la cobertura vegetal del APH y como elemento necesario para contextualizar ecológicamente la respuesta espectral observada.

A partir de este contraste bibliográfico, los valores calculados para Cruz de Ventanas se mantienen como referencias estadísticas propias del área de estudio. El P25 de 0,454 delimita el rango histórico inferior, los valores comprendidos entre 0,454 y 0,550 corresponden al rango histórico intermedio y aquellos superiores al P75 de 0,550 conforman el rango histórico superior. Al comparar estos resultados con la bibliografía, se observa que el límite superior determinado para Cruz de Ventanas se encuentra por debajo del intervalo de 0,60 a 0,80 registrado por (Muñoz-Jácome et al., 2026) en una comunidad altoandina con presencia de *Calamagrostis intermedia*. Esta diferencia no debe interpretarse directamente como evidencia de deterioro de la vegetación, debido a las diferencias existentes entre áreas de estudio, composición florística, sensores empleados, resolución espacial y condiciones ambientales.

En consecuencia, los percentiles P25 y P75 permiten establecer rangos estadísticos internos para describir la variabilidad histórica del NDVI en Cruz de Ventanas, mientras que la revisión bibliográfica proporciona el contexto ecológico necesario para su interpretación. En el pajonal existe evidencia de que la respuesta espectral puede variar en función de las condiciones hidrometeorológicas y se dispone de referencias cuantitativas de NDVI para comunidades altoandinas con presencia de *Calamagrostis intermedia*. Para la vegetación de almohadilla representada por *Azorella pedunculata*, la ausencia de umbrales específicos de NDVI obliga a mantener una interpretación basada en las características de

la cobertura y en las condiciones ambientales concurrentes. De esta manera, los valores inferiores o superiores observados en la serie histórica no se consideran por sí solos indicadores de degradación o recuperación, sino variaciones de la respuesta espectral que posteriormente se analizan conjuntamente con la precipitación, la humedad del suelo y el PDSI.

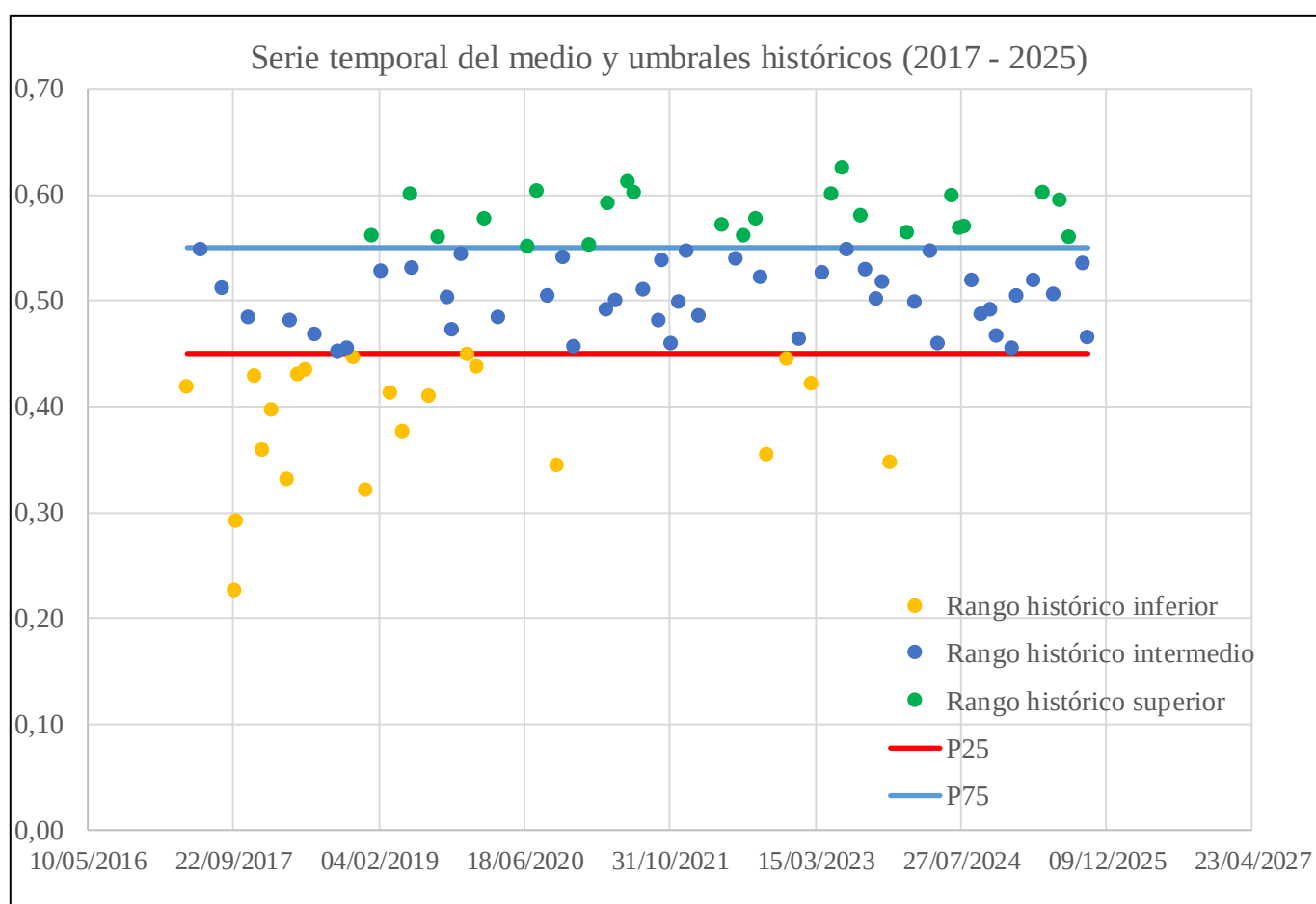
Tabla 28. Contraste bibliográfico de los rangos de NDVI según las principales coberturas vegetales del APH Cruz de Ventanas

Cobertura vegetal / especie representativa	Referencia bibliográfica	Valores o comportamiento del NDVI reportado
Pajonal – Calamagrostis intermedia	Villarreal-Veloz et al. (2023)	Los pajonales ecuatorianos dominados por géneros como Calamagrostis presentan variaciones espaciales y temporales del NDVI relacionadas con las condiciones hidrometeorológicas. El estudio demuestra que la respuesta del NDVI no permanece constante y depende de las condiciones ambientales.
Comunidad altoandina con presencia de Calamagrostis intermedia	Cushquicullma-Colcha y Vaca-Cárdenas (2026)	Se reportaron valores de NDVI entre 0,60 y 0,80, asociados en ese estudio con una elevada actividad fotosintética de la cobertura vegetal evaluada, dentro de cuya composición florística se registró C. intermedia.
Vegetación de almohadilla – Azorella pedunculata	Villarreal-Veloz et al. (2023)	Se reconoce a A. pedunculata como componente de las formaciones de almohadilla del páramo ecuatoriano. La revisión realizada no identificó un intervalo de NDVI validado específicamente para esta especie.
Cobertura vegetal del APH Cruz de Ventanas	Presente investigación	< 0,454: rango histórico inferior; 0,454–0,550: rango histórico intermedio; > 0,550: rango histórico superior.

Nota: Los valores de NDVI reportados en investigaciones desarrolladas en otros ecosistemas altoandinos se emplean como referencias comparativas y no como umbrales directamente transferibles al APH Cruz de Ventanas, debido a diferencias en la composición de la cobertura vegetal, condiciones ambientales, escala espacial y características metodológicas. Los valores 0,454 y 0,550 corresponden, respectivamente, a los percentiles P25 y P75 obtenidos para la serie histórica mensual del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia con base en Villarreal-Veloz et al. (2023), Cushquicullma-Colcha y Vaca-Cárdenas (2026) y los resultados de la presente investigación.

Ilustración 23. Serie temporal del NDVI medio del APH Cruz de Ventanas y rangos históricos de referencia, 2017 – 2025



Fuente: Elaboración propia con base en datos de NDVI, 2017 – 2025.

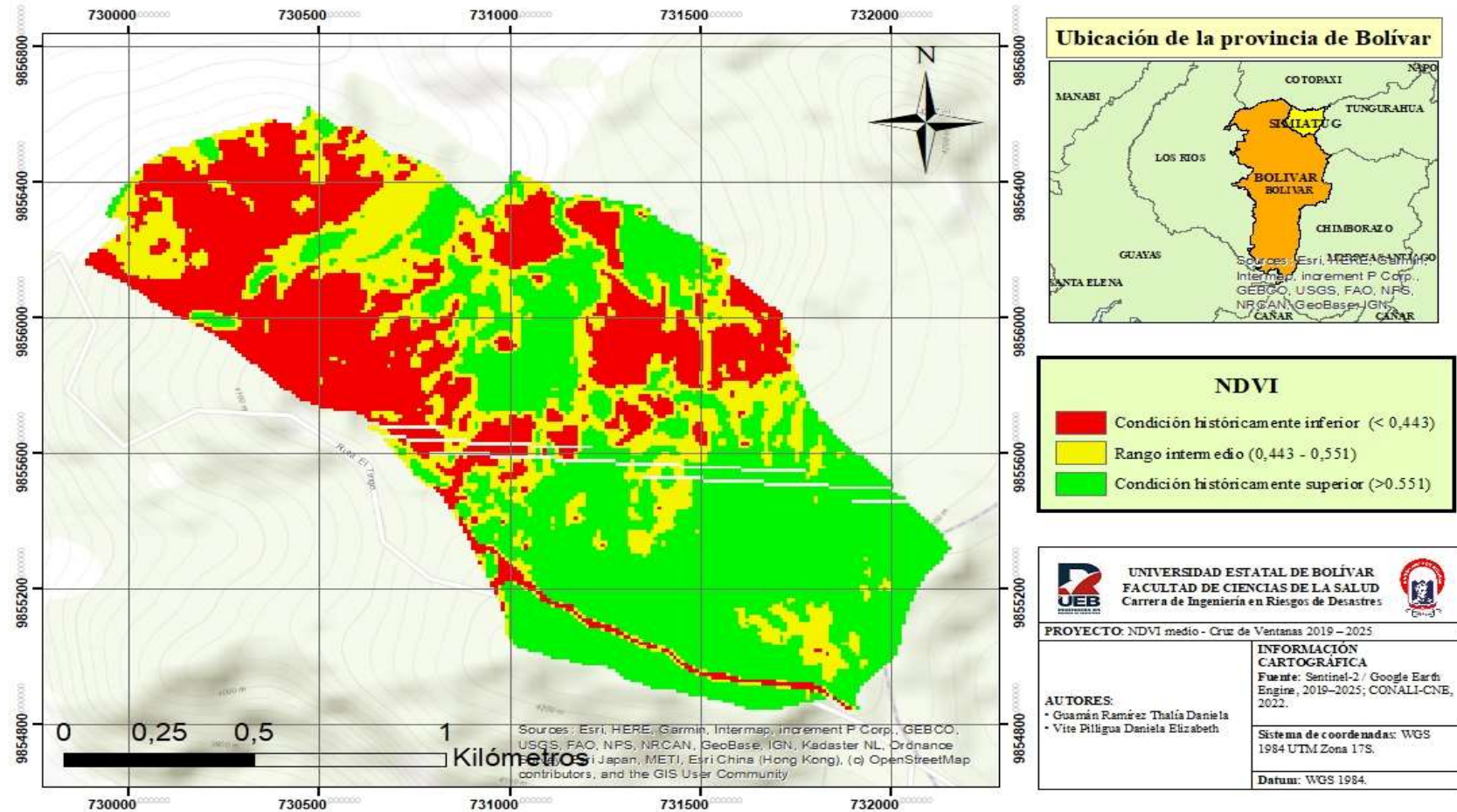
Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

La serie temporal mensual del NDVI presentó variaciones a lo largo del período 2017–2025, con alternancia de observaciones ubicadas en los rangos histórico inferior, intermedio y superior. Los registros más bajos se concentraron principalmente durante determinados períodos de la serie, mientras que en los años posteriores se observaron incrementos y disminuciones del índice sin evidenciar una tendencia temporal uniformemente ascendente o descendente. En consecuencia, el comportamiento observado se interpreta como una variación temporal de la respuesta espectral de la cobertura vegetal y no directamente como un proceso de recuperación o degradación del ecosistema.

Los incrementos registrados entre una observación y otra indican una mayor respuesta del NDVI respecto del período precedente, mientras que las disminuciones representan una reducción relativa del índice. Sin embargo, estas variaciones no permiten establecer por sí solas cambios en el estado ecológico de la vegetación, debido a que su interpretación depende del tipo y estructura de la cobertura vegetal y de las condiciones ambientales presentes durante cada período. Por esta razón, los registros mensuales fueron posteriormente analizados en conjunto con la precipitación, la humedad del suelo y el PDSI, con el propósito de examinar si las variaciones del NDVI presentaron correspondencia temporal con las condiciones hidroclimáticas del área de estudio.

Ilustración 24. Mapa del NDVI medio del APH Simiátug

MAPA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL NDVI MEDIO EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN HÍDRICA CRUZ DE VENTANAS



4.3.3 Determinación de rangos históricos de referencia

Una vez analizado el comportamiento histórico de las variables hidroclimáticas y del NDVI, se determinaron los rangos estadísticos de referencia para el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025, para ello, se utilizaron los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) calculados a partir de las series históricas de precipitación, humedad del suelo, PDSI, temperatura mínima, temperatura máxima y NDVI. Estos estadísticos permitieron establecer una clasificación relativa de los registros de cada variable, diferenciando aquellos que se encuentran en el sector inferior de la distribución histórica, los que se concentran en el intervalo intermedio y los que corresponden al sector superior.

La utilización de los percentiles permitió realizar la clasificación de acuerdo con el comportamiento propio de cada variable, evitando establecer valores de referencia externos que no necesariamente representarían las condiciones particulares del área de estudio, en este sentido, los valores inferiores al P25 fueron considerados históricamente bajos, aquellos comprendidos entre el P25 y el P75 correspondieron a condiciones intermedias, mientras que los valores superiores al P75 fueron clasificados como históricamente altos. Para las variables hidro climáticas, estos percentiles fueron calculados sobre el conjunto de observaciones mensuales disponibles entre 2017 y 2025, mientras que para el NDVI se utilizaron los valores medios correspondientes a las 142 fechas de observación disponibles

Tabla 29. Rangos históricos de referencia de las variables ambientales y del NDVI del APH Cruz de Ventanas, 2017 - 2025

Variable	Condición históricamente baja	Rango intermedio	Condición históricamente alta
Precipitación	< 42,08 mm	42,08 – 78,63 mm	> 78,63 mm
Humedad del suelo	< 40,75	40,75 – 100,38	> 100,38
PDSI	< -3,15	-3,15 – 2,63	> 2,63

Tmin	< 0,40 °C	0,40 – 1,50 °C	> 1,50 °C
Tmax	< 11,20 °C	11,20 – 12,30 °C	> 12,30 °C
NDVI	< 0,44	0,44 – 0,55	> 0,55

Nota: Los rangos corresponden a referencias estadísticas derivadas de la distribución histórica de cada variable durante el período 2017–2025. En el caso del NDVI, los valores de referencia se obtuvieron a partir de los promedios espaciales correspondientes a las 142 fechas disponibles. Estos rangos no representan umbrales ecológicos, fisiológicos ni universales, sino criterios estadísticos relativos utilizados para comparar las condiciones históricas y proyectadas del área de estudio.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026).

Como se observa en la Tabla 28, cada variable presenta una distribución y una escala de valores diferente, por lo que los percentiles permiten realizar una clasificación independiente sin perder las características propias de cada serie. La precipitación, por ejemplo, presenta un rango histórico comprendido entre 42,08 y 78,63 mm para el intervalo intermedio, mientras que la humedad del suelo presenta un intervalo más amplio, entre 40,75 y 100,38. De manera similar, el PDSI presenta un rango intermedio entre -3,15 y 2,63, y las temperaturas mínima y máxima se sitúan entre 0,40–1,50 °C y 11,20–12,30 °C, respectivamente. Para el NDVI, el intervalo comprendido entre 0,44 y 0,55 representa el sector intermedio de su distribución histórica.

Estos rangos constituyen una línea base estadística del comportamiento histórico del APH Cruz de Ventanas, por lo que su principal utilidad dentro de la investigación es facilitar la comparación entre las condiciones registradas durante 2017–2025 y aquellas proyectadas para el período 2021–2040. De esta manera, será posible determinar si los valores futuros permanecen dentro del intervalo observado históricamente o si se desplazan hacia los sectores inferior o superior de la distribución. Es importante señalar que esta clasificación no permite establecer, por sí sola, que una condición represente deterioro o recuperación del ecosistema, ya que dicha interpretación requiere considerar conjuntamente el comportamiento de las variables ambientales y la respuesta de la vegetación.

A partir de esta línea base, los rangos establecidos también permiten integrar las variables hidro climáticas con el NDVI en fechas representativas del período histórico. Esta comparación resulta relevante porque una determinada condición de precipitación, humedad del suelo o PDSI no necesariamente coincide con una respuesta específica de la vegetación en todas las fechas analizadas. Por ello, la clasificación estadística permitirá identificar patrones de coincidencia y situaciones contrastantes entre las condiciones ambientales y el comportamiento del NDVI, sin asumir de manera anticipada una relación causal entre ellas. En este sentido, los rangos obtenidos constituyen el punto de referencia para el análisis integrado que se desarrollará en el siguiente apartado.

4.3.4 Integración de las condiciones climáticas y la respuesta de la vegetación

Una vez establecidos los rangos estadísticos de referencia para las variables hidro climáticas y el NDVI, se realizó una integración de la precipitación, la humedad del suelo y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) con los valores de NDVI registrados en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas durante el período 2017–2025. Esta comparación tuvo como propósito identificar las coincidencias y contrastes entre las condiciones hidro climáticas observadas y la respuesta relativa de la cobertura vegetal, tomando como referencia los rangos estadísticos definidos previamente para cada variable.

Para realizar esta integración se utilizaron los valores del P25 y P75 establecidos en el apartado anterior. En el caso de la precipitación, los registros inferiores a 42,08 mm fueron considerados relativamente bajos, aquellos comprendidos entre 42,08 y 78,63 mm correspondieron al rango intermedio y los superiores a 78,63 mm representaron valores relativamente altos dentro de la distribución histórica. Para la humedad del suelo se utilizaron como referencias 40,75 y 100,38, mientras que para el PDSI se consideraron -3,15 y 2,63,

interpretando los valores inferiores al P25 como condiciones relativamente más secas y los superiores al P75 como condiciones relativamente más húmedas. Para el NDVI se utilizaron los valores de 0,44 y 0,55, correspondientes al P25 y P75 de las 142 fechas disponibles. De esta manera, la clasificación permitió comparar la posición relativa de las variables en cada fecha, sin considerar estos rangos como umbrales ecológicos o límites absolutos del funcionamiento de la vegetación.

A partir de esta clasificación se seleccionaron fechas representativas en las que se observaron diferentes combinaciones entre las condiciones hidroclimáticas y el NDVI. La selección permitió incluir situaciones en las que las variables ambientales presentaron valores relativamente bajos, intermedios o altos, así como casos en los que la respuesta del NDVI coincidió o contrastó con dichas condiciones. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Integración de las condiciones ambientales y la respuesta del NDVI en fechas representativas

Fecha	Precipitación (mm)	Humedad del suelo	PDSI	NDVI	Condición P	Condición humedad	Condición PDSI	Condición del NDVI
2017- 09-29	33,3	44,4	-1,98	0,22	Baja	Intermedia	Intermedia	Baja
2018- 01-27	43,1	26,4	-2,37	0,25	Intermedia	Baja	Intermedia	Baja
2018- 06-06	35,5	40,5	-4,04	0,37	Baja	Baja	Baja	Históricamente baja
2018- 07-01	25,5	29,0	-4,45	0,39	Baja	Baja	Baja	Históricamente baja

2018-09-29	28,3	18,3	-5,29	0,44	Baja	Baja	Baja	Históricamente baja
2018-12-23	34,5	43,2	-4,27	0,32	Baja	Intermedia	Baja	Baja
2019-06-11	41,6	89,4	-1,87	0,61	Baja	Intermedia	Intermedia	Alta
2020-08-04	31,1	33,9	-3,48	0,62	Baja	Baja	Baja	Históricamente alta
2021-05-01	47,7	96,7	-2,85	0,50	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Intermedia
2022-02-11	87,8	112,4	3,33	0,41	Alta	Alta	Alta	Históricamente baja
2022-05-21	43,6	101,1	2,70	0,61	Intermedia	Alta	Alta	Alta
2022-10-03	71,4	76,5	3,45	0,30	Intermedia	Intermedia	Alta	Baja
2023-03-02	103,2	112,4	4,02	0,42	Alta	Alta	Alta	Históricamente baja
2024-05-10	42,3	96,9	1,43	0,45	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Intermedia
2025-07-06	49,7	95,5	1,96	0,61	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Históricamente alta

Fuente: TerraClimate (2017–2025) y registros de NDVI proporcionados para el período 2017–2025.

Nota: Los rangos de clasificación corresponden a referencias estadísticas obtenidas de la distribución histórica de cada variable durante 2017–2025, en el caso del PDSI, los términos “seca” y “húmeda” se utilizan para representar la

posición relativa de los valores dentro de la serie y no como categorías ecológicas, para el NDVI, los valores inferiores a 0,443 corresponden al sector inferior de la distribución, los valores entre 0,443 y 0,551 al intervalo intermedio y los superiores a 0,551 al sector superior.

Fuente: TerraClimate y registros de NDVI proporcionados para el período 2017–2025.

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

La integración de las variables permitió identificar algunos períodos en los que las condiciones hidro climáticas relativamente bajas coincidieron con valores también bajos de NDVI. Este comportamiento se observa principalmente durante 2018, por ejemplo, el 6 de junio de 2018 se registraron 35,5 mm de precipitación, una humedad del suelo de 40,5 y un PDSI de -4,04, mientras que el NDVI alcanzó un valor de 0,37, ubicado por debajo del P25 de la serie; una situación semejante se presentó el 1 de julio, cuando la precipitación disminuyó a 25,5 mm, la humedad del suelo fue de 29,0 y el PDSI alcanzó -4,45, mientras que el NDVI fue de 0,39. Para septiembre de ese mismo año se registraron nuevamente condiciones relativamente bajas de precipitación y humedad, acompañadas de un PDSI de -5,29 y un NDVI de 0,441, valor ligeramente inferior al P25 establecido. Estos registros muestran una coincidencia temporal entre condiciones hidro climáticas ubicadas en el sector inferior de sus respectivas distribuciones y valores relativamente bajos de NDVI.

Sin embargo, la comparación también permitió identificar situaciones en las que esta correspondencia no se mantuvo, un ejemplo se presentó el 4 de agosto de 2020, cuando la precipitación fue de 31,1 mm, la humedad del suelo alcanzó 33,9 y el PDSI fue de -3,48, valores que se ubicaron en los sectores relativamente bajos de sus respectivas distribuciones, mientras que el NDVI alcanzó 0,62, por encima del P75 de 0,55. Este comportamiento evidencia que la presencia de condiciones hidro climáticas relativamente bajas en una fecha determinada no estuvo necesariamente acompañada por un valor bajo de NDVI.

También se identificaron casos en los que las condiciones hidro climáticas se ubicaron en los sectores superiores de sus distribuciones, mientras que el NDVI presentó valores relativamente bajos, el 11 de febrero de 2022, por ejemplo, se registraron 87,8 mm de precipitación, 112,4 de humedad del suelo y un PDSI de 3,33, mientras que el NDVI fue de 0,412, inferior al P25; de manera similar, el 2 de marzo de 2023 se registraron 103,2 mm de precipitación, 112,4 de humedad y un PDSI de 4,02, pero el NDVI alcanzó 0,422. Estos resultados muestran que valores elevados de las variables hidro climáticas tampoco se asociaron de manera uniforme con valores altos del NDVI.

Por otra parte, se observaron períodos con condiciones intermedias o combinaciones de condiciones diferentes en los que el NDVI presentó valores intermedios o altos, el 21 de mayo de 2022, por ejemplo, la precipitación fue de 43,6 mm, ubicada dentro del rango intermedio, mientras que la humedad del suelo alcanzó 101,1 y el PDSI 2,70, ambos dentro del sector superior de sus respectivas distribuciones; en esta fecha, el NDVI fue de 0,618, correspondiente al sector superior de su distribución histórica. De igual manera, el 6 de julio de 2025 presentó valores intermedios de precipitación, humedad del suelo y PDSI, mientras que el NDVI alcanzó 0,61, ubicándose por encima del P75. Estos casos muestran que la respuesta de la cobertura vegetal presentó variaciones entre fechas aun cuando las condiciones hidro climáticas se encontraban en rangos similares.

En términos generales, la comparación de las 142 fechas permitió reconocer que la relación entre las condiciones hidro climáticas y el NDVI no presentó una correspondencia uniforme en todas las observaciones. Se identificaron períodos en los que condiciones relativamente secas coincidieron con valores bajos de NDVI, principalmente durante 2018, pero también se encontraron situaciones en las que condiciones hidro climáticas

relativamente bajas estuvieron acompañadas por valores altos de NDVI, así como períodos con condiciones húmedas en los que el NDVI permaneció en el sector inferior de su distribución. Por tanto, los resultados permiten identificar coincidencias y contrastes temporales, pero no establecer por sí solos una relación causal o lineal entre las variables.

Esta variabilidad puede estar relacionada con el carácter integrado de algunos indicadores y con la respuesta temporal de la cobertura vegetal, por lo que el valor registrado de NDVI en una fecha determinada no necesariamente representa una respuesta inmediata a las condiciones de precipitación o humedad observadas en ese mismo momento. En consecuencia, los resultados obtenidos se consideran una referencia para caracterizar el comportamiento histórico del APH Cruz de Ventanas y constituyen la base para las siguientes etapas del análisis, particularmente la comparación del NDVI del área de estudio con otros ecosistemas de páramo mediante un procedimiento homogéneo de procesamiento de información satelital.

4.3.5 Comparación del NDVI del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas con otros ecosistemas de páramo mediante Google Earth Engine

Con el propósito de complementar el análisis de la dinámica de la cobertura vegetal del Área de Protección Hídrica (APH) Cruz de Ventanas, se realizó una comparación descriptiva del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con tres sectores representativos de páramo ubicados en las áreas protegidas de Chimborazo, Cotopaxi y Antisana. Esta comparación permitió contextualizar el comportamiento de la vegetación registrada en Cruz de Ventanas frente a otros sectores altoandinos que presentan condiciones ambientales similares, considerando principalmente la cobertura vegetal y el rango altitudinal.

El procesamiento se efectuó mediante la plataforma Google Earth Engine, utilizando imágenes Sentinel-2 y aplicando un procedimiento homogéneo para la selección, procesamiento y control de calidad de las imágenes en los cuatro sectores. Para el cálculo del NDVI se emplearon las bandas B4, correspondiente al rojo, y B8, correspondiente al infrarrojo cercano, ambas con una resolución espacial de 10 m en la colección Sentinel-2 Surface Reflectance Harmonized. El índice se calculó mediante la expresión:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

donde B8 representa la reflectancia en el infrarrojo cercano y B4 la reflectancia en la banda roja. De acuerdo con la documentación oficial de Google Earth Engine, estas bandas presentan una resolución espacial de 10 m y forman parte del producto Sentinel-2 Level-2A de reflectancia superficial, lo que permite realizar análisis de la vegetación a escala espacial detallada.

Para evitar que las diferencias de extensión territorial entre las áreas protegidas condicionaran la comparación, no se utilizaron las superficies completas de Chimborazo, Cotopaxi y Antisana; en su lugar, se seleccionaron sectores comparables mediante un criterio operativo basado en la presencia de la clase 12 de MapBiomás Ecuador Collection 2.0, correspondiente a formación campestre o herbazal, y un intervalo altitudinal comprendido entre 3.800 y 4.200 m s.n.m. Este procedimiento permitió trabajar con sectores que presentan características espaciales y ambientales semejantes a las observadas en Cruz de Ventanas, la información de cobertura utilizada corresponde a MapBiomás Ecuador Collection 2.0, cuya cartografía fue desarrollada para el período 1985–2023 y presenta una resolución espacial de 30 m.

En el caso de Cruz de Ventanas, la base espacial estuvo conformada por 20.224 píxeles de 10×10 m, equivalentes a una superficie espacial de referencia de 202,24 ha, a partir del criterio de cobertura y altitud se identificaron 11.502 píxeles, equivalentes a aproximadamente 115,02 ha de la malla de análisis, que cumplen simultáneamente con las condiciones establecidas. Para los otros tres sectores se delimitaron áreas comparables de aproximadamente 116 ha, procurando que la totalidad o prácticamente la totalidad de la superficie seleccionada cumpliera con el criterio operativo establecido, esta selección no constituye una delimitación ecológica universal del ecosistema de páramo, sino una estrategia metodológica destinada a reducir las diferencias espaciales entre los sitios de comparación.

Tabla 31. Características de los sectores utilizados para la comparación del NDVI

Sector	Criterio de selección	de Rango Altitudinal (m.s.n.m)	Superficie utilizada
Cruz de Ventanas	Clase 12 + rango altitudinal	3,800 – 4.200	115,02 ha
Chimborazo	Clase 12 + rango altitudinal	3,800 – 4.200	116,02 ha
Cotopaxi	Clase 12 + rango altitudinal	3,800 – 4.200	116,42 ha
Antisana	Clase 12 + rango altitudinal	3,800 – 4.200	116,02 ha

Nota: En Cruz de Ventanas, la superficie corresponde a la superficie equivalente de la malla de análisis de 10×10 m que cumple el criterio operativo. En Chimborazo, Cotopaxi y Antisana corresponde a la superficie de los sectores comparables delimitados en Google Earth Engine.

Fuente: Elaboración propia a partir de MapBiomias Ecuador Collection 2.0, Sentinel-2 y modelo digital de elevación SRTM.

La selección de estos sectores permitió establecer una base espacial común para la comparación, aunque las diferencias naturales entre las localidades deben ser consideradas al interpretar los resultados; factores como la topografía, las condiciones atmosféricas, la composición de la vegetación, la disponibilidad de humedad y las fechas de adquisición de las imágenes pueden generar variaciones en los valores de NDVI, por esta razón, los resultados obtenidos se interpretan como una comparación descriptiva del comportamiento de la vegetación, y no como una clasificación de los sectores en términos de calidad o estado de conservación.

Una vez definidos los sectores de análisis, se procesaron las series temporales de Sentinel-2 disponibles para cada área, mediante un control de calidad basado en la proporción de píxeles no válidos dentro de cada sector, conservándose las observaciones con un porcentaje de píxeles no válidos igual o inferior al 20 %. Cuando una misma fecha presentó más de una observación debido a la cobertura de diferentes escenas o tiles, los valores fueron consolidados mediante el promedio correspondiente, evitando de esta manera otorgar un peso mayor a una fecha únicamente por contar con más de una escena disponible.

Como resultado del procesamiento se obtuvieron 103 fechas únicas para Cruz de Ventanas, 121 para Chimborazo, 35 para Cotopaxi y 32 para Antisana; las diferencias en el número de observaciones se relacionan con la disponibilidad de imágenes que cumplieron los criterios de calidad establecidos para cada sector, por lo que no representan necesariamente una diferencia en la frecuencia temporal real de observación de los ecosistemas.

Tabla 32. Estadísticos descriptivos del NDVI en los sectores comparados

Sector	Fechas únicas	Mínimo	P25	Mediana	Media	P75	Máximo	Desv. estándar
Cruz de Ventanas	103	0,31	0,50	0,54	0,54	0,58	0,63	0,06
Chimborazo	121	0,24	0,43	0,45	0,45	0,48	0,55	0,04
Cotopaxi	35	0,42	0,51	0,54	0,53	0,55	0,60	0,03
Antisana	32	0,46	0,57	0,58	0,58	0,60	0,62	0,03

Fuente: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026) a partir del procesamiento de imágenes Sentinel-2 mediante Google Earth Engine.

Los estadísticos obtenidos muestran que el NDVI presentó variabilidad entre los sectores analizados; en Cruz de Ventanas, la media del NDVI fue de 0,53, con una mediana de 0,54 y un intervalo intercuartílico comprendido entre 0,50 y 0,57, estos valores muestran que la mayor parte de las observaciones de la serie se concentró alrededor de valores medios y altos dentro de la distribución histórica utilizada para este sector, el valor mínimo registrado fue de 0,31, mientras que el máximo alcanzó 0,62, evidenciando una amplitud asociada a la variación temporal de la respuesta de la cobertura vegetal.

En el sector de Chimborazo se obtuvo una media de 0,45, con una mediana de 0,45 y valores correspondientes a P25 y P75 de 0,43 y 0,48, respectivamente; la amplitud registrada entre el mínimo de 0,24 y el máximo de 0,55 evidencia una variación temporal mayor respecto al intervalo central de la serie. Por su parte, Cotopaxi presentó una media de 0,53, una mediana de 0,54 y un intervalo intercuartílico entre 0,51 y 0,55, mientras que el sector de Antisana presentó una media de 0,58, una mediana de 0,58 y un intervalo entre 0,57 y 0,60.

La desviación estándar permite observar la dispersión de los valores alrededor de la media. Para Cruz de Ventanas se obtuvo un valor de 0,05, en Chimborazo 0,04, en Cotopaxi 0,03 y en Antisana 0,03; estos valores describen la variabilidad de las series analizadas, aunque no permiten por sí solos atribuir las diferencias a una determinada condición ecológica, debido a que la respuesta espectral de la vegetación también está condicionada por factores ambientales y por las características de cada adquisición satelital.

Para complementar esta comparación, se identificaron las fechas en las que los cuatro sectores contaron simultáneamente con observaciones válidas, este procedimiento permitió reducir la influencia de las diferencias temporales entre las series y facilitó una comparación más homogénea, ya que los valores corresponden a las mismas fechas de adquisición o a fechas consolidadas equivalentes en los cuatro sectores. En total se identificaron 12 fechas comunes.

Tabla 33. Valores de NDVI en las fechas comunes entre los cuatro sectores

Fecha	Cruz de Ventanas	Chimborazo	Cotopaxi	Antisana
2019-02-16	0,52	0,47	0,51	0,61
2019-08-30	0,55	0,42	0,55	0,62
2020-02-06	0,57	0,44	0,57	0,60
2020-02-11	0,58	0,45	0,59	0,59
2020-08-24	0,59	0,45	0,57	0,59
2021-07-05	0,60	0,46	0,56	0,61
2023-09-08	0,55	0,42	0,56	0,59
2024-01-26	0,56	0,49	0,60	0,61
2024-08-08	0,57	0,50	0,58	0,62
2024-09-12	0,53	0,44	0,55	0,58
2024-10-17	0,51	0,38	0,53	0,57
2024-11-06	0,52	0,38	0,53	0,54

Fuente: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026) a partir del procesamiento de imágenes Sentinel-2 mediante Google Earth Engine.

La comparación de estas fechas evidencia que los valores de NDVI no permanecieron constantes entre los sectores y que las diferencias se mantuvieron incluso cuando las observaciones correspondieron al mismo momento temporal. En Cruz de Ventanas, los valores de las fechas comunes oscilaron entre 0,51 y 0,60, mientras que en Chimborazo variaron entre 0,37 y 0,49. Cotopaxi presentó valores entre 0,50 y 0,60, y Antisana entre 0,53 y 0,61. Esta variación muestra que la respuesta espectral de la vegetación presenta particularidades espaciales que no pueden explicarse únicamente por la fecha de observación.

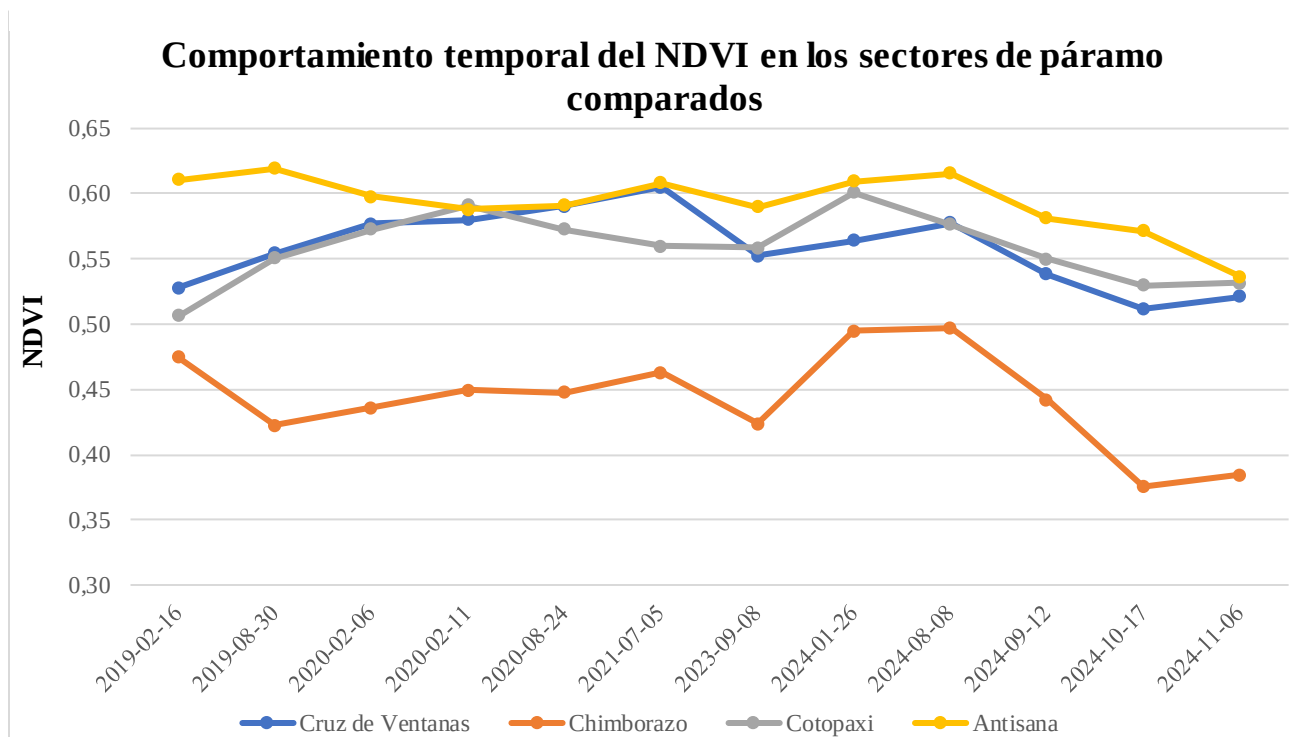
En términos temporales, Cruz de Ventanas presentó valores superiores a 0,55 en varias de las fechas comunes, alcanzando 0,60 el 5 de julio de 2021. Cotopaxi también presentó valores elevados durante determinados períodos, con un máximo de 0,60 el 26 de enero de 2024, mientras que Antisana alcanzó valores de hasta 0,61 el 30 de agosto de 2019. En Chimborazo, por el contrario, los valores de las fechas comunes se mantuvieron por debajo de 0,50, con el valor máximo de 0,49 registrado el 8 de agosto de 2024. Estos resultados corresponden exclusivamente a los sectores seleccionados y al período de imágenes que cumplió con los criterios de calidad establecidos, por lo que no deben extrapolarse directamente a la totalidad de cada área protegida.

La representación gráfica de las series permite visualizar la evolución temporal del NDVI y las diferencias observadas entre los sectores. Para Cruz de Ventanas, la serie presenta fluctuaciones a lo largo del período de análisis, con valores que se mantienen dentro de un intervalo relativamente amplio, mientras que las series de Cotopaxi y Antisana muestran una concentración mayor de observaciones en determinados rangos. Chimborazo, por su parte, presenta valores generalmente inferiores dentro de las fechas comparables. Estas diferencias

deben interpretarse conjuntamente con las características particulares de cada sector, debido a que el NDVI representa una respuesta espectral de la

cobertura vegetal y no constituye por sí mismo una medida directa de la disponibilidad hídrica o del estado ecológico integral.

Gráfico 3. Comparación de los valores de NDVI registrados en las 12 fechas comunes entre Cruz de Ventanas, Chimborazo, Cotopaxi y Antisana.



Fuente: (Guamán Ramírez & Vite Pilligua, 2026) a partir del procesamiento de imágenes Sentinel-2 mediante Google Earth Engine.

La gráfica muestra la variación temporal del NDVI en los cuatro sectores de páramo durante las fechas comunes de análisis. Se observa una fluctuación de los valores entre los diferentes períodos, con Cruz de Ventanas, Cotopaxi y Antisana presentando comportamientos relativamente cercanos en varias fechas, mientras que Chimborazo registra valores generalmente inferiores dentro de la serie comparada. En Cruz de Ventanas, los valores se mantienen principalmente entre 0,51 y 0,61, evidenciando variaciones temporales en la respuesta de la cobertura vegetal.

Estas diferencias muestran que la dinámica del NDVI presenta características particulares en cada sector, por lo que su interpretación debe considerar las condiciones ambientales propias de cada localidad. En este sentido, la comparación permite contextualizar el comportamiento de la cobertura vegetal de Cruz de Ventanas respecto a otros sectores de páramo, constituyendo un elemento complementario para su posterior análisis conjunto con las variables hidro climáticas estudiadas.

En relación con el objetivo de la investigación, esta comparación proporciona un contexto adicional para interpretar el comportamiento de la vegetación del APH Cruz de Ventanas, los valores obtenidos permiten identificar el intervalo en el que se ha desarrollado la respuesta de la cobertura vegetal durante el período analizado y observar su comportamiento respecto de sectores de páramo seleccionados bajo criterios espaciales semejantes, sin embargo, las diferencias encontradas no deben interpretarse como una clasificación de los sectores en términos de mejor o peor condición, puesto que el NDVI está influenciado por múltiples factores ambientales, entre ellos la humedad disponible, la precipitación, la temperatura, la estructura y composición de la vegetación, la topografía y las condiciones específicas de cada imagen.

Por ello, los resultados de esta comparación adquieren mayor utilidad cuando se integran con el análisis hidroclimático desarrollado previamente; en el caso de Cruz de Ventanas, la información obtenida mediante Sentinel-2 permite complementar la evaluación de la cobertura vegetal con las condiciones de precipitación, humedad del suelo, PDSI y temperaturas identificadas en la serie histórica, esta integración permite analizar de manera conjunta la relación entre las condiciones hidro climáticas y la respuesta de la vegetación,

proporcionando una base para la posterior interpretación de las posibles implicaciones sobre los servicios ecosistémicos identificados en el área de estudio.

Es importante señalar que los valores de P25, mediana y P75 utilizados en esta comparación corresponden a estadísticos descriptivos de cada serie temporal y no deben considerarse umbrales ecológicos universales. En consecuencia, estos valores sirven como referencias estadísticas para caracterizar la distribución histórica del NDVI en cada sector, mientras que la identificación de posibles condiciones de estrés o cambios relevantes requiere su interpretación conjunta con las variables hidro climáticas y con el comportamiento histórico de la cobertura vegetal. Esta consideración es particularmente importante para evitar atribuir al NDVI, de manera aislada, una condición ecológica que no pueda ser sustentada por las demás variables analizadas.

En conjunto, la comparación desarrollada mediante Google Earth Engine permitió establecer una referencia espacial y temporal del comportamiento del NDVI en Cruz de Ventanas frente a tres sectores de páramo seleccionados de Chimborazo, Cotopaxi y Antisana. La utilización de un procedimiento homogéneo de procesamiento y de criterios equivalentes para la selección de los sectores favoreció la comparabilidad de los resultados y aportó elementos adicionales para interpretar la dinámica de la cobertura vegetal del APH Cruz de Ventanas dentro del contexto de los ecosistemas altoandinos estudiados.

4.3.6 Escenarios futuros de cambio climático 2021-2040

Para analizar las posibles condiciones climáticas futuras en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, se utilizaron las proyecciones climáticas de WorldClim v2.1 correspondientes al período 2021–2040, bajo el modelo climático MRI-ESM2-0 y los

escenarios SSP245 y SSP585, se consideraron las variables de precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima, debido a que permiten caracterizar las condiciones pluviométricas y térmicas proyectadas para el área de estudio. Los datos de WorldClim para este período corresponden a valores mensuales promediados para el intervalo de 20 años 2021–2040, por lo que no representan una serie de 240 observaciones mensuales independientes.

Los datos fueron procesados espacialmente mediante ArcGIS Pro, utilizando el límite del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas como unidad de análisis. Para cada variable y escenario se obtuvo la media espacial correspondiente a cada mes, con el propósito de caracterizar la distribución mensual de las condiciones climáticas proyectadas. Además, se mantuvo el mismo modelo climático, MRI-ESM2-0, para ambos escenarios con el fin de conservar la consistencia metodológica de la comparación entre SSP245 y SSP585.

Tabla 34. Proyecciones climáticas mensuales para el período 2021-2040

Mes	Precipitación	Precipitación	Tmin	Tmin	Tmax	Tmax
	SSP245 (mm)	SSP585 (mm)	SSP245 (°C)	SSP585 (°C)	SSP245 (°C)	SSP585 (°C)
Enero	64,50	62,75	3,27	3,38	12,90	13,00
Febrero	98,25	95,25	3,27	3,38	12,55	12,85
Marzo	96,50	101,25	3,60	3,80	13,10	13,10
Abril	101,25	103,25	3,50	3,60	13,33	13,42
Mayo	52,00	51,00	3,35	3,35	13,30	13,48
Junio	30,75	29,25	2,45	2,45	12,90	13,00
Julio	17,50	16,25	1,85	1,95	12,65	12,65
Agosto	17,50	16,50	1,57	1,67	12,67	12,78
Septiembre	35,00	30,00	1,97	1,97	13,30	13,52
Octubre	68,00	66,00	2,55	2,55	13,80	14,00
Noviembre	70,00	69,00	2,70	2,80	13,75	13,95
Diciembre	58,00	59,75	2,72	2,93	13,70	13,80

Fuente: Elaborado a partir de las proyecciones climáticas de WorldClim v2.1, modelo MRI-ESM2-0, escenarios SSP245 y SSP585, procesamiento mediante ArcGIS Pro

4.3.6.1 Comportamiento proyectado de la precipitación

Los valores proyectados de precipitación muestran una distribución estacional diferenciada durante el período 2021–2040; en ambos escenarios, los mayores valores se concentran entre febrero y abril, mientras que los registros más bajos se presentan entre junio y septiembre. Al contrastar estas proyecciones con los rangos estadísticos históricos establecidos para el período 2017–2025, se observa que febrero, marzo y abril presentan valores superiores al P75 histórico de 78,63 mm en ambos escenarios, el valor máximo corresponde a abril, con 101,25 mm bajo SSP245 y 103,25 mm bajo SSP585.

En contraste, entre junio y septiembre los valores proyectados se encuentran por debajo del P25 histórico de 42,08 mm, los valores más bajos corresponden a julio, con 17,50 mm bajo SSP245 y 16,25 mm bajo SSP585, mientras que en agosto se registran 17,50 y 16,50 mm, respectivamente; esta posición respecto del rango histórico indica que durante estos meses las condiciones pluviométricas proyectadas se ubicarían en el sector inferior de la distribución observada durante 2017–2025.

Durante enero, mayo, octubre, noviembre y diciembre, los valores proyectados permanecen dentro del intervalo comprendido entre el P25 y el P75 histórico, por lo que se ubican en el rango intermedio definido para la serie de referencia. En términos comparativos, las diferencias entre SSP245 y SSP585 son variables a lo largo del año; sin embargo, durante junio–septiembre el escenario SSP585 presenta valores inferiores a SSP245, con la diferencia más amplia en septiembre, cuando se proyectan 30,00 mm frente a 35,00 mm, respectivamente. Estos resultados muestran que ambos escenarios conservan una marcada estacionalidad, aunque presentan diferencias en la magnitud de la precipitación proyectada para determinados meses.

4.3.6.2 Comportamiento proyectado de la temperatura mínima

En cuanto a la temperatura mínima, los valores proyectados para el período 2021–2040 presentan un intervalo entre 1,57 °C y 3,80 °C; al compararlos con el P75 histórico de 1,50 °C, se observa que todos los valores proyectados bajo SSP245 y SSP585 se encuentran por encima del rango superior de referencia establecido para el período 2017–2025.

Bajo SSP245, la temperatura mínima presenta valores entre 1,57 °C en agosto y 3,60 °C en marzo, mientras que bajo SSP585 varía entre 1,67 °C en agosto y 3,80 °C en marzo. En algunos meses ambos escenarios presentan valores iguales, como mayo, junio y septiembre, mientras que en otros se observan diferencias entre escenarios. La mayor diferencia corresponde a marzo, con 3,60 °C bajo SSP245 y 3,80 °C bajo SSP585.

En términos estadísticos, estos resultados indican un desplazamiento de las temperaturas mínimas proyectadas hacia valores superiores respecto de la distribución histórica utilizada como referencia, sin embargo, esta comparación no debe interpretarse como la superación de un umbral ecológico o fisiológico, sino como una diferencia respecto del comportamiento térmico observado durante 2017–2025.

4.3.6.3 Comportamiento proyectado de la temperatura máxima

Para la temperatura máxima, los valores proyectados se encuentran entre 12,55 °C y 14,00 °C. Bajo el escenario SSP245, el valor más bajo corresponde a febrero, con 12,55 °C, mientras que el máximo se presenta en octubre, con 13,80 °C; en el escenario SSP585, los valores oscilan entre 12,65 °C en julio y 14,00 °C en octubre.

La comparación entre escenarios muestra que SSP585 presenta valores iguales o superiores a SSP245 durante todos los meses, con excepción de julio, cuando ambos escenarios proyectan 12,65 °C, las diferencias más evidentes se presentan en febrero, septiembre y octubre, con incrementos de 0,30 °C, 0,22 °C y 0,20 °C, respectivamente, bajo SSP585.

Al contrastar estas proyecciones con el P75 histórico de temperatura máxima, establecido en 12,30 °C, se observa que los valores proyectados de ambos escenarios se encuentran por encima de dicho rango durante todos los meses. Esto representa una posición estadísticamente superior respecto de la distribución histórica de 2017–2025 y evidencia un desplazamiento de las condiciones térmicas máximas hacia valores superiores. Al igual que en el caso de la temperatura mínima, esta diferencia debe entenderse como una referencia estadística y no como un límite ecológico para la vegetación.

4.3.6.4 Síntesis de las condiciones futuras

En conjunto, las proyecciones para el período 2021–2040 muestran que el comportamiento climático del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas conservaría una marcada estacionalidad, la precipitación proyectada presenta sus mayores valores entre febrero y abril, mientras que los menores registros se concentran entre junio y septiembre. Al contrastar estos valores con la distribución histórica, se identifica una posición superior al P75 durante febrero–abril y una posición inferior al P25 durante junio–septiembre.

En el caso de la temperatura, tanto las temperaturas mínimas como las máximas proyectadas se ubican por encima de sus respectivos P75 históricos durante todos los meses. Esto indica que las condiciones térmicas proyectadas presentan una posición superior respecto de la distribución observada durante 2017–2025. Las diferencias entre SSP245 y

SSP585 son más evidentes en las variables térmicas que en la precipitación, particularmente durante determinados meses.

El escenario SSP585 no presenta una reducción uniforme de la precipitación durante todo el año. No obstante, entre junio y septiembre registra valores inferiores a SSP245, mientras que las temperaturas mínimas y máximas son generalmente iguales o superiores. En conjunto, estas diferencias permiten identificar modificaciones en el contexto hidrológico proyectado respecto de la línea de referencia histórica, las cuales serán consideradas en el siguiente apartado para analizar sus posibles implicaciones sobre la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica.

4.3.7 Comparación entre condiciones históricas y escenarios futuros

Con el propósito de establecer las diferencias entre las condiciones hidrológicas registradas históricamente en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas y aquellas proyectadas para el período 2021–2040, se realizó una comparación entre la serie histórica correspondiente al período 2017–2025 y los escenarios de cambio climático SSP245 y SSP585. Para ello, se utilizaron como referencia los percentiles 25 (P25) y 75 (P75) calculados a partir de la serie histórica, con el fin de identificar la posición de los valores proyectados respecto al intervalo estadístico observado en el área de estudio.

Los intervalos utilizados corresponden a los percentiles calculados sobre el conjunto de observaciones históricas del período 2017–2025 y, por tanto, representan una referencia estadística general para el área de estudio, estos valores no corresponden a percentiles calculados de manera independiente para cada mes, sino que permiten establecer una línea base común para contrastar las condiciones históricas con las proyecciones futuras.

En el caso de la precipitación, la serie histórica presentó un P25 de 42,08 mm y un P75 de 78,63 mm; a partir de estos valores se estableció un rango estadístico de referencia, considerando como relativamente bajos los registros inferiores a 42,08 mm, como intermedios aquellos comprendidos entre 42,08 y 78,63 mm y como relativamente altos los valores superiores a 78,63 mm, esta clasificación permite contrastar la posición de las precipitaciones proyectadas con respecto a la distribución histórica registrada en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Tabla 35. Comparación mensual de la precipitación histórica y proyectada para el período 2021 – 2040.

Mes	Intervalo histórico P25-P75 (mm)	SSP245 (mm)	Condición SSP245	SSP585 (mm)	Condición SSP585
Enero	42,08 – 78,63	64,50	Intermedia	62,75	Intermedia
Febrero	42,08 – 78,63	98,25	Alta	95,25	Alta
Marzo	42,08 – 78,63	96,50	Alta	101,25	Alta
Abril	42,08 – 78,63	101,25	Alta	103,25	Alta
Mayo	42,08 – 78,63	52,00	Intermedia	51,00	Intermedia
Junio	42,08 – 78,63	30,75	Baja	29,25	Baja
Julio	42,08 – 78,63	17,50	Baja	16,25	Baja
Agosto	42,08 – 78,63	17,50	Baja	16,50	Baja
Septiembre	42,08 – 78,63	35,00	Baja	30,00	Baja
Octubre	42,08 – 78,63	68,00	Intermedia	66,00	Intermedia
Noviembre	42,08 – 78,63	70,00	Intermedia	69,00	Intermedia
Diciembre	42,08 – 78,63	58,00	Intermedia	59,75	Intermedia

Nota: El intervalo P25 – P75 corresponde a la distribución histórica general de la precipitación durante 2017 – 2025 y no percentiles calculados de manera independiente para cada mes.

Fuente: Elaboración propia a partir de la serie histórica 2017 – 2025 y las proyecciones climáticas de WorldClim para el período 2021 – 2040

Como se observa en la Tabla 14, los valores proyectados de precipitación presentan una distribución diferenciada respecto al intervalo histórico de referencia; en ambos escenarios, los meses de febrero, marzo y abril presentan valores superiores al P75 histórico de 78,63 mm, mientras que durante junio, julio, agosto y septiembre los valores se encuentran por debajo del P25 de 42,08 mm. Por su parte, enero, mayo, octubre, noviembre y diciembre permanecen dentro del intervalo comprendido entre ambos percentiles.

La comparación entre los escenarios muestra que las diferencias en la precipitación no mantienen una dirección uniforme durante todo el año; el escenario SSP585 presenta valores inferiores a SSP245 durante varios meses, principalmente dentro del período junio–septiembre, mientras que en marzo, abril y diciembre presenta valores superiores, por ello, los resultados no permiten interpretar al escenario SSP585 como una reducción generalizada de la precipitación, sino como una proyección con diferencias mensuales respecto a SSP245.

4.3.7.1 Comparación de la temperatura mínima y máxima

En cuanto a la temperatura mínima, los valores proyectados bajo ambos escenarios se encuentran por encima del P75 histórico de 1,50 °C durante todos los meses. Bajo SSP245, los valores oscilan entre 1,57 °C y 3,60 °C, mientras que bajo SSP585 varían entre 1,67 °C y 3,80 °C, esto indica que las temperaturas mínimas proyectadas ocupan una posición superior respecto al intervalo de referencia obtenido para el período 2017–2025.

Para la temperatura máxima, el P25 histórico fue de 11,20 °C y el P75 de 12,30 °C, los valores proyectados bajo SSP245 y SSP585 se encuentran por encima de este último durante todos los meses, con valores que alcanzan 13,80 °C y 14,00 °C, respectivamente, en octubre, de esta manera, las proyecciones muestran una posición superior de las temperaturas máximas respecto a la distribución histórica utilizada como referencia.

En conjunto, la comparación evidencia diferencias entre las condiciones históricas y las proyectadas, principalmente por la posición de las temperaturas futuras por encima de sus respectivos P75 y por la variación mensual de la precipitación respecto al intervalo histórico. Estos resultados constituyen una referencia para analizar posteriormente las posibles respuestas de la cobertura vegetal y sus implicaciones sobre los servicios ecosistémicos identificados en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas.

Tabla 36. Comparación mensual de las temperaturas mínimas y máximas históricas y proyectadas

Mes	Tmin histórico P25-P75 (°C)	Tmin SSP245 (°C)	Tmin SSP585 (°C)	Tmax histórico P25-P75 (°C)	Tmax SSP245 (°C)	Tmax SSP585 (°C)
Enero	0,40 – 1,50	3,27	3,38	11,20 – 12,30	12,90	13,00
Febrero	0,40 – 1,50	3,27	3,38	11,20 – 12,30	12,55	12,85
Marzo	0,40 – 1,50	3,60	3,80	11,20 – 12,30	13,10	13,10
Abril	0,40 – 1,50	3,50	3,60	11,20 – 12,30	13,33	13,42
Mayo	0,40 – 1,50	3,35	3,35	11,20 – 12,30	13,30	13,48
Junio	0,40 – 1,50	2,45	2,45	11,20 – 12,30	12,90	13,00
Julio	0,40 – 1,50	1,85	1,95	11,20 – 12,30	12,65	12,65
Agosto	0,40 – 1,50	1,57	1,67	11,20 – 12,30	12,67	12,78
Septiembre	0,40 – 1,50	1,97	1,97	11,20 – 12,30	13,30	13,52

Octubre	0,40 – 1,50	2,55	2,55	11,20 – 12,30	13,80	14,00
Noviembre	0,40 – 1,50	2,70	2,80	11,20 – 12,30	13,75	13,95
Diciembre	0,40 – 1,50	2,72	2,93	11,20 – 12,30	13,70	13,80

Fuente: Elaboración propia a partir de la serie histórica 2017 – 2025 y las proyecciones climáticas de WorldClim para el período 2021 – 2040.

Los resultados muestran que los valores proyectados de temperatura mínima se encuentran por encima del P75 histórico de 1,50 °C, tanto para SSP245 como SSP585; bajo SSP245, las temperaturas mínimas oscilan entre 1,57 °C en agosto y 3,60 °C en marzo, mientras que en SSP585 varían entre 1,67 °C en agosto y 3,80 °C en marzo. Esto indica que las temperaturas mínimas proyectadas se sitúan fuera del rango superior observado durante el período histórico analizado.

La temperatura máxima presenta un comportamiento similar, todos los valores proyectados superan el P75 histórico de 12,30 °C, tanto en SSP245 como en SSP585; para SSP245, los valores fluctúan entre 12,55 °C en febrero y 13,80 °C en octubre, mientras que SSP585 presenta valores entre 12,65 °C en julio y 14,00 °C en octubre.

En términos comparativos, el escenario SSP585 presenta temperaturas mínimas iguales o superiores a las de SSP245 durante los meses analizados, mientras que para la temperatura máxima también se observa una tendencia general hacia valores superiores bajo SSP585, aunque existen meses en los que ambos escenarios presentan el mismo valor; la mayor diferencia entre escenarios para la temperatura máxima corresponde a febrero, con 0,30 °C, mientras que para la temperatura mínima la diferencia máxima se presenta en diciembre con 0,21 °C.

Gráfico 4. Comparación de la precipitación mensual proyectada bajo los escenarios SSP245 y SSP585 para el período 2021 - 2040

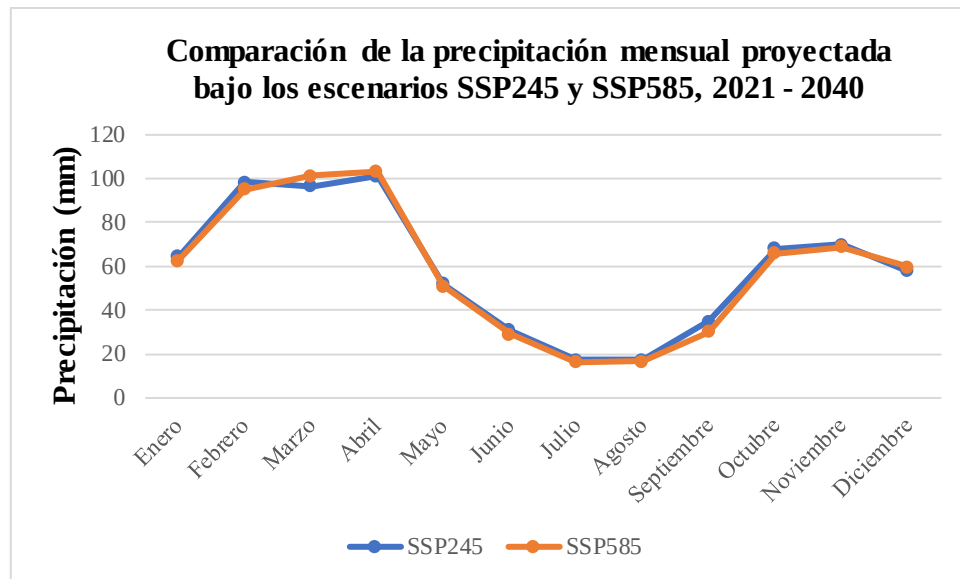


Gráfico 5. Temperatura mínima mensual proyectada bajo los escenarios SSP245 y SSP585, 2021–2040.

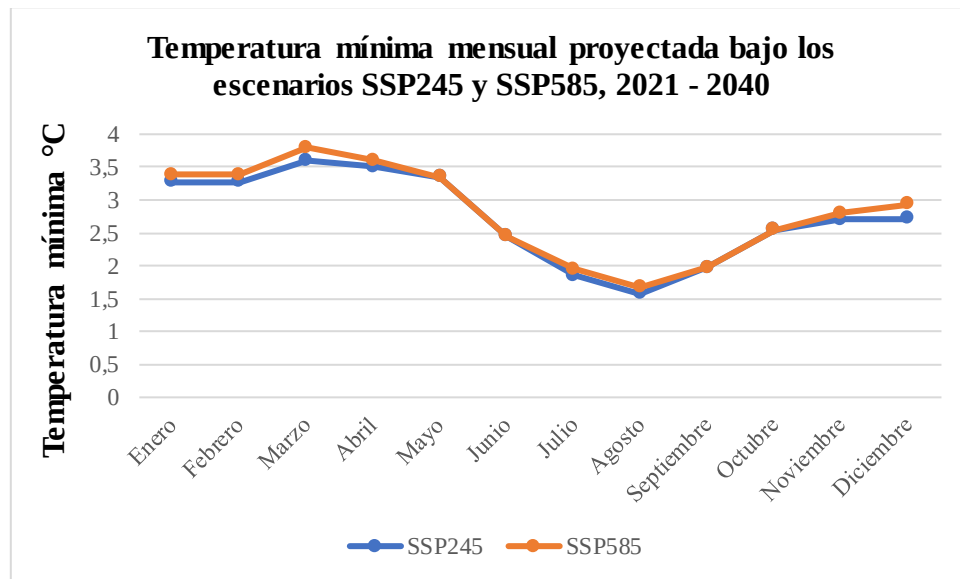
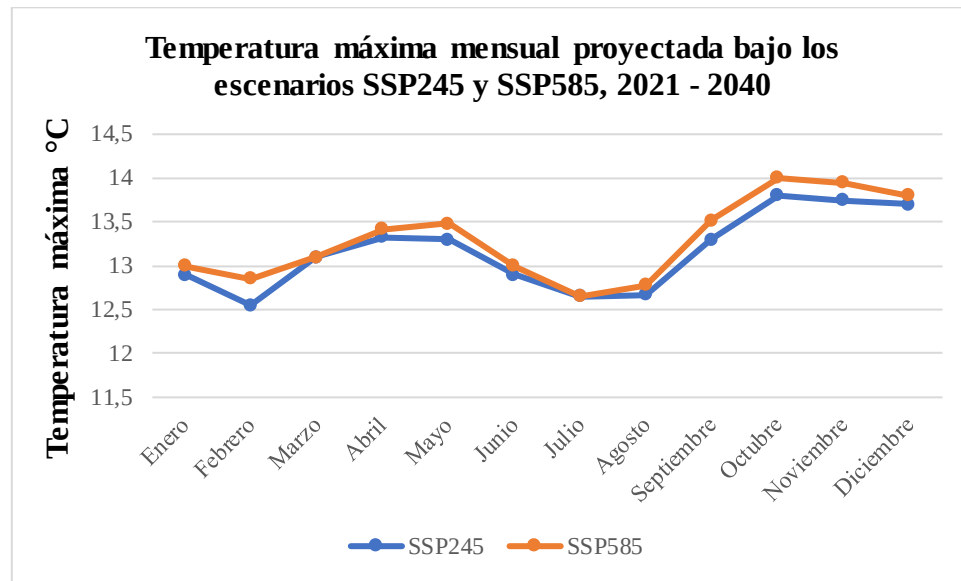


Gráfico 6. Temperatura máxima mensual proyectada bajo los escenarios SSP245 y SSP585, 2021–2040.



4.3.8 Posibles implicaciones para los servicios ecosistémicos

Los resultados obtenidos permiten aproximarse a las posibles implicaciones que las condiciones hidro climáticas proyectadas podrían generar sobre los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas. Para ello, se consideró el comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas durante el período 2017–2025, junto con la respuesta de la cobertura vegetal representada mediante el NDVI, y posteriormente se contrastaron estos resultados con las condiciones proyectadas para el período 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585, esta integración permite identificar cambios en el contexto ambiental del área que podrían ser relevantes para los servicios de provisión y regulación hídrica, sin interpretar las proyecciones como estimaciones directas de pérdidas o deterioro futuro del ecosistema.

Tabla 37. Posibles condiciones de referencia de los servicios ecosistémicos

Condición o referencia	Resultado proyectado	Posible implicación	Servicio ecosistémico relacionado
Precipitación inferior al P25 durante junio–septiembre	16,25–35,00 mm	Podría modificar la disponibilidad de agua y las condiciones de humedad del ecosistema	Provisión y regulación hídrica
Precipitación superior al P75 durante febrero–abril	Hasta 103,25 mm	Podría representar períodos de mayor aporte de agua; su efecto dependerá de la infiltración, almacenamiento y escorrentía	Regulación y provisión hídrica
Tmin superior al P75 histórico	1,57–3,80 °C	Podría modificar las condiciones térmicas bajo las cuales se desarrolla la cobertura vegetal	Mantenimiento de la cobertura vegetal y regulación
Tmax superior al P75 histórico	12,55–14,00 °C	Podría modificar las condiciones de humedad del suelo y la demanda evaporativa	Regulación hídrica
Diferencias entre SSP245 y SSP585	SSP585 presenta temperaturas generalmente superiores y variaciones	Podría generar condiciones ambientales diferenciadas según el	Provisión y regulación hídrica

	mensuales de precipitación	escenario y la época del año	
Variabilidad histórica del NDVI	P25 = 0,45; P75 = 0,55	Evidencia una respuesta variable de la cobertura vegetal frente a las condiciones ambientales	Mantenimiento de la cobertura vegetal

Elaborado por: (Guamán Ramírez y Vite Pilligua, 2026)

Los resultados obtenidos permiten aproximarse a las posibles implicaciones que las condiciones climáticas proyectadas podrían generar sobre los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, para ello se tomó como referencia el comportamiento histórico de las variables climáticas e hidrológicas durante el período 2017–2025, junto con la respuesta de la cobertura vegetal representada mediante el NDVI, y posteriormente se compararon estos resultados con las condiciones proyectadas para el período 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585, de esta manera, el análisis permite reconocer aquellos cambios que podrían presentarse en el contexto ambiental del área y que resultan relevantes para comprender el comportamiento de los servicios de provisión y regulación hídrica, sin considerar estas proyecciones como una estimación directa de pérdidas futuras del ecosistema.

En relación con la precipitación, los resultados muestran que entre junio y septiembre los valores proyectados se encuentran por debajo del P25 histórico de 42,08 mm, con los registros más bajos durante julio, cuando se proyectan 17,50 mm bajo SSP245 y 16,25 mm bajo SSP585; desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación

hídrica, estas condiciones representan un período que podría modificar la humedad disponible en el sistema y el aporte de agua durante determinados meses, sin embargo, la precipitación por sí sola no permite determinar una disminución futura de la provisión hídrica, debido a que la disponibilidad y regulación del agua también dependen de procesos como la infiltración, el almacenamiento en el suelo, la escorrentía y las características de la cobertura vegetal, los cuales no fueron determinados directamente en este análisis.

Por otra parte, entre febrero y abril se identificaron valores de precipitación superiores al P75 histórico de 78,63 mm, alcanzando un máximo de 103,25 mm bajo SSP585 durante abril, estas condiciones representan valores relativamente altos respecto de la distribución histórica del área y podrían estar asociadas con períodos de mayor aporte de agua al sistema. No obstante, una mayor precipitación no implica necesariamente un incremento equivalente en la disponibilidad efectiva del recurso hídrico, debido a que el destino del agua depende de procesos como la infiltración, el almacenamiento y la escorrentía, por esta razón, los valores proyectados deben interpretarse como modificaciones de las condiciones pluviométricas y no como estimaciones directas de la cantidad de agua disponible para los servicios ecosistémicos.

En cuanto a la temperatura, tanto la temperatura mínima como la temperatura máxima presentan, en ambos escenarios, valores superiores a sus respectivos P75 históricos; la temperatura mínima proyectada varía entre 1,57 °C y 3,80 °C, mientras que la temperatura máxima presenta valores entre 12,55 °C y 14,00 °C, este desplazamiento respecto de la distribución histórica indica que las condiciones térmicas proyectadas podrían diferir de aquellas registradas durante 2017–2025. Cuando estas condiciones se presentan conjuntamente con períodos de menor precipitación, podrían modificar el contexto de

humedad y temperatura en el que se desarrolla la cobertura vegetal, sin embargo, los resultados no permiten establecer directamente una reducción de la vegetación ni determinar efectos fisiológicos específicos sobre las especies presentes en el Área de Protección Hídrica.

La incorporación del NDVI permite complementar la interpretación de las condiciones hidro climáticas, debido a que proporciona un indicador de la respuesta espectral de la cobertura vegetal durante el período analizado. En la serie histórica se identificaron variaciones del NDVI asociadas temporalmente con diferentes condiciones ambientales, en algunas fechas, los valores relativamente bajos de precipitación, humedad del suelo y PDSI coincidieron con valores bajos de NDVI, particularmente durante determinados períodos de 2018; sin embargo, también se identificaron fechas en las que condiciones ambientales clasificadas como bajas estuvieron acompañadas de valores relativamente altos de NDVI. De igual manera, se observaron períodos con condiciones húmedas en los que el NDVI presentó valores relativamente bajos.

Este comportamiento evidencia que la respuesta de la cobertura vegetal no es uniforme frente a una condición ambiental determinada, el NDVI puede responder a la combinación de diferentes variables ambientales y presentar desfases temporales respecto de las condiciones de precipitación y humedad del suelo. Por tanto, los resultados no permiten atribuir una variación puntual del NDVI exclusivamente al comportamiento de una sola variable hidro climática.

En este sentido, las condiciones proyectadas bajo los escenarios SSP245 y SSP585 deben entenderse como posibles modificaciones del contexto ambiental en el que se desarrollan y funcionan los servicios ecosistémicos del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, más que como una estimación directa de los cambios que necesariamente ocurrirán

en el ecosistema; la presencia de períodos con precipitación inferior al rango histórico, acompañados de temperaturas mínimas y máximas superiores a sus respectivos P75, constituye una condición relevante para el seguimiento ambiental, debido a que la combinación de estas variables podría modificar las condiciones de humedad y temperatura bajo las cuales se desarrolla la cobertura vegetal y se producen procesos relacionados con la regulación hídrica.

Desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación hídrica, el período comprendido entre junio y septiembre constituye una condición de interés para el monitoreo del Área de Protección Hídrica, debido a que los valores proyectados de precipitación se encuentran por debajo del P25 de la distribución histórica. Esta condición podría asociarse con una menor entrada de agua al sistema durante determinados meses; sin embargo, la magnitud de sus posibles efectos no puede establecerse únicamente con las variables analizadas en este objetivo, para profundizar en la evaluación de estos servicios sería necesario incorporar variables relacionadas con caudales, almacenamiento de agua, propiedades del suelo, infiltración, escorrentía y otros componentes del funcionamiento hidrológico del área.

En conjunto, los resultados obtenidos mediante el desarrollo del objetivo 3 permiten establecer una línea base estadística y ambiental del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas, a partir de la cual se pueden contrastar las condiciones observadas durante 2017–2025 con las proyecciones climáticas para el período 2021–2040 bajo los escenarios SSP245 y SSP585. Esta información constituye un punto de referencia para el seguimiento de variables como la precipitación, temperatura, humedad del suelo, PDSI y NDVI, especialmente durante los períodos en los que las condiciones proyectadas se sitúan fuera del

intervalo estadístico histórico. Asimismo, los resultados pueden servir como apoyo para futuras investigaciones y procesos de monitoreo orientados a contrastar las condiciones proyectadas con la respuesta real de la cobertura vegetal y profundizar en la comprensión de los posibles cambios relacionados con la provisión y regulación de los servicios ecosistémicos.

4.4 Comprobación de la Hipótesis

4.4.1 Comprobación Estadística de la Hipótesis mediante el Coeficiente de Spearman

Para evaluar la asociación entre las condiciones hidroclimáticas históricas y la respuesta de la cobertura vegetal, se aplicó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman (ρ_s) entre la precipitación, la humedad del suelo y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El análisis se realizó a partir de 90 observaciones mensuales correspondientes al período 2017–2025, emparejadas temporalmente según el mismo mes y año. La significancia estadística se evaluó mediante un nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde ρ_s representa el coeficiente de correlación de rangos de Spearman, d_i corresponde a la diferencia entre los rangos de cada par de observaciones y n representa el número de observaciones analizadas. Para el presente estudio se trabajó con $n = 90$ observaciones mensuales. Se consideró estadísticamente significativa una asociación cuando $p \leq 0,05$.

Tabla 38. Coeficientes de correlación de Spearman y significancia entre variables hidro climáticas y el NDVI

Par de variables analizadas	Coeficiente de Spearman (ρ_s)	Grado de significancia (p-valor)	Decisión estadística ($\alpha = 0,05$)
Precipitación (mm) vs. NDVI	-0,1833	0,0838	No se rechaza H_o
Humedad del Suelo (mm) vs. NDVI	0,2588	0,0138	Se rechaza H_o
Índice PDSI vs. NDVI	0,2672	0,0109	Se rechaza H_o

Nota: n = 90 observaciones mensuales; $\alpha = 0,05$. Se consideró estadísticamente significativa una asociación cuando $p \leq 0,05$.

Interpretación y Discusión de Resultados

Los resultados evidenciaron comportamientos diferenciados entre las variables hidroclimáticas analizadas y el NDVI. La precipitación presentó una correlación negativa de baja magnitud con el NDVI ($\rho_s = -0,1833$); sin embargo, esta asociación no fue estadísticamente significativa ($p = 0,0838$), por lo que no se rechazó la hipótesis nula para esta relación. En contraste, la humedad del suelo presentó una correlación positiva de baja magnitud y estadísticamente significativa con el NDVI ($\rho_s = 0,2588$; $p = 0,0138$), mientras que el PDSI mostró igualmente una correlación positiva de baja magnitud y estadísticamente significativa ($\rho_s = 0,2672$; $p = 0,0109$). En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula para estas dos relaciones.

Estos resultados indican que, durante el período histórico analizado, la respuesta espectral de la cobertura vegetal presentó asociaciones estadísticamente significativas con la

humedad del suelo y el PDSI, mientras que la precipitación mensual no mostró una asociación estadísticamente significativa con el NDVI. No obstante, la baja magnitud de los coeficientes obtenidos evidencia que estas asociaciones deben interpretarse con cautela y en conjunto con otros factores ambientales. Por esta razón, es necesario considerar la variabilidad temporal, la época del año y las características de los diferentes tipos de vegetación presentes en el páramo. En este contexto, el NDVI se empleó como un indicador complementario de la respuesta espectral de la cobertura vegetal y no como un indicador único del funcionamiento ambiental del Área de Protección Hídrica.

En este sentido, las asociaciones identificadas no permiten establecer relaciones causales ni afirmar, únicamente a partir de los resultados de la correlación, condiciones de resiliencia, degradación o recuperación del ecosistema. Por ello, la interpretación de las posibles implicaciones sobre los servicios ecosistémicos se realizó mediante la integración de las condiciones hidroclimáticas históricas, la respuesta de la cobertura vegetal, las proyecciones climáticas y las características ecológicas del área de estudio.

Conclusiones

- Se pudo observar que el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas cuenta con una gran variedad de servicios ecosistémicos, tanto de provisión como de regulación,

soporte y culturales; entre todos ellos, resalta especialmente la regulación hídrica, ya que el páramo tiene la capacidad de captar, almacenar y liberar agua de manera regular esto resulta fundamental para el abastecimiento de agua de la comunidad Cruz de Ventanas de la parroquia Simiátug y, al mismo tiempo, contribuye a mantener la biodiversidad característica de los ecosistemas altoandinos.

- La valoración social, ambiental, económica y cultural evidenció que la población reconoce la importancia del páramo para su bienestar y para el desarrollo de sus actividades productivas, los resultados muestran una percepción favorable hacia la conservación del Área de Protección Hídrica y una disposición de los habitantes para participar en acciones orientadas a la protección de los recursos naturales y de los servicios ecosistémicos, asimismo, la valoración económica mediante la disposición a pagar permitió estimar un aporte promedio de 1,96 USD mensuales por hogar, lo que representa una expresión de la disposición comunitaria para contribuir al financiamiento de acciones de conservación, estos resultados reflejan que el valor atribuido por la población al ecosistema no depende únicamente de un beneficio económico directo, sino también de la importancia ambiental, social y cultural que representa para la comunidad
- El análisis integral del Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas permitió consolidar una línea base ambiental al caracterizar la variabilidad histórica (2017–2025) y las proyecciones climáticas (2021–2040) de variables hidro climáticas y de vegetación del NDVI. Los resultados revelan una marcada heterogeneidad espacial y temporal en la cobertura vegetal, evidenciando que su respuesta espectral no depende de un único factor climático, sino de interacciones complejas y desfases temporales.

Asimismo, los escenarios SSP245 y SSP585 proyectan una alteración en la estacionalidad del recurso hídrico, con un incremento térmico persistente por encima del percentil 75 histórico y desfases en la precipitación, que podría modificar las dinámicas de regulación hídrica.

Recomendaciones

- Fortalecer las acciones de conservación y manejo sostenible de los servicios ecosistémicos identificados en el Área de Protección Hídrica Cruz de Ventanas,

priorizando aquellos vinculados con la provisión y regulación hídrica, la conservación del suelo y la cobertura vegetal, así como los beneficios culturales asociados al páramo. Para ello, se recomienda establecer acciones comunitarias de protección de las áreas que mantienen estos servicios, controlar las prácticas que puedan generar alteraciones en la cobertura vegetal y promover actividades de restauración en sectores que presenten afectaciones. Estas medidas deben considerar las formas de uso registradas en el territorio y la importancia de las especies y formaciones vegetales identificadas durante el trabajo de campo, con el propósito de mantener las funciones ecológicas que sustentan los beneficios que el páramo proporciona a la comunidad.

- Incorporar la valoración social, ambiental, económica y cultural expresada por los habitantes de Cruz de Ventanas en la planificación de las acciones de conservación del Área de Protección Hídrica, fortaleciendo la participación comunitaria en la toma de decisiones y en la ejecución de actividades de protección del páramo. Considerando que 27 de los 28 hogares encuestados manifestaron disposición a contribuir económicamente y que la disposición a pagar promedio fue de USD 1,96 mensuales por hogar, se recomienda evaluar participativamente mecanismos locales de financiamiento para actividades de conservación, restauración, educación ambiental y vigilancia comunitaria, sin considerar esta valoración monetaria como el único criterio de decisión. De esta manera, las acciones de gestión podrán integrar el valor económico expresado por la población con los beneficios sociales, ambientales y culturales que la comunidad reconoce en los servicios ecosistémicos del páramo.

- Establecer un programa de monitoreo ambiental periódico que integre las variables hidroclimáticas analizadas: precipitación, humedad del suelo, PDSI y temperatura, con diferentes indicadores de respuesta de la cobertura vegetal, evitando utilizar el NDVI como único criterio para determinar el estado del ecosistema. El seguimiento de la vegetación deberá diferenciar las principales formaciones presentes en el área, especialmente el pajonal y la vegetación de almohadilla, e incorporar observaciones de campo sobre composición, cobertura y estado de la vegetación, considerando además las variaciones entre períodos secos y lluviosos. Los rangos históricos y las condiciones proyectadas bajo los escenarios SSP245 y SSP585 podrán utilizarse como referencias para identificar cambios en las condiciones ambientales y orientar oportunamente medidas de conservación y adaptación que contribuyan a mantener los servicios de provisión y regulación del Área de Protección Hídrica.

REFERENCIAS

[AVSF], A. y. (2023). *Amenazas y presiones sobre los ecosistemas altoandinos*.

<https://www.avsf.org/app/uploads/2023/12/2-Amenazas-presiones.pdf>

Albán Ruiz, B. M. (2025). Valoración económica de los servicios ecosistémicos del páramo, en la comunidad de Jatun Era parroquia Cochapamba, provincia de Cotopaxi: Estrategias para su conservación y uso sostenible. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Álvarez, y Urbina. (2022). Abordaje Innovador de un espacio recreativo: El caso del parquerecreativo y cultural Omar de la ciudad de Panamá. *Gente clave*, 9-29.

<https://revistas.ulatina.edu.pa/index.php/genteclave/article/view/239/281>

Armando Molina, M. C.-S.-B. (11 de Abril de 2023). Soil–vegetation–water interactions controlling solute flow and chemical weathering in volcanic ash soils of the high Andes. *Soil–vegetation–water interactions controlling solute flow and chemical weathering in volcanic ash soils of the high Andes*.

<https://hess.copernicus.org/articles/27/1507/2023/>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito:

Asamblea Nacional del Ecuador. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Asamblea Nacional del Ecuador. (06 de Agosto de 2014). Ley Orgánica de Recursos

Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial Suplemento 305. *Ley*

Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Registro Oficial Suplemento 305. Quito, Pichincha, Ecuador.

Asamblea Nacional del Ecuador. (Abril de 12 de 2017). Quito, Pichincha, Ecuador.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial, Suplemento 983. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE.pdf>

Asamblea Nacional del Ecuador. (2024). *Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres*. Quito: Asamblea Nacional del Ecuador.
<https://procuraduria.utpl.edu.ec/NormativaExterna/LEY%20ORG%C3%81NICA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DEL%20RIESGO%20DE%20DESASTRES.pdf>

Bernal Torres, C. A. (2016). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*.
<https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/fb0b0cfee2ae990609933d17c6890848960051aa.pdf>

Bolívar, G. p. (2024). *Estudio de zonificación ecológica y económica de la provincia de Bolívar*. Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar.
<https://bolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/EstudioDeZonificacionProvincial.pdf>

Buytaert Wouter, C. R. (Noviembre de 2006). *Impacto humano en la hidrología de los páramos andinos*. Science Direct:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825206000808?via%3>

Dihub

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., y Deckers, J. (2006).

Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53-72.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825206000808?via%3>

Dihub

Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., y Tobón, C. (17 de Agosto de 2010). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>

Célleri, R., y Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical Andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>

Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales. (2017). Índice de

Palmer – Palmer Drought Severity Index (PDSI). *Índice de Palmer – Palmer*

Drought Severity Index (PDSI). Ciudad de Córdoba, ARGENTINA.

<https://www.crean.unc.edu.ar/pdsi-2018-10/>

Chapin, S., Matson, P., y Vitousek, P. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*

(2 ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9>

Cordulus. (18 de septiembre de 2025). ¿Qué es el índice Palmer de gravedad de la sequía?

<https://www.cordulus.com/es/glossary/palmer-drought-severity-index>

Dai, A. (19 de octubre de 2010). Drought under global warming: a review.

<https://doi.org/10.1002/wcc.81>

Dorigo , W., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., Brocca, L., . . . Gruber,

A. (15 de diciembre de 2017).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425717303061?via%3>

Dihub

Duran Lopez, M. E., Pinos Morocho, D. G., y Morales Matute, O. P. (2021). Suplemento /

Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y
valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador.

Revista de Ciencias Ambientales, 55(2), 151-170.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-

38962021000400151

Fauxto López, F. ((2024)). Impacto del cambio climático en el desarrollo sostenible de

Ecuador. Noticias UTPL. . <https://noticias.utpl.edu.ec/impacto-del-cambio-climatico-en-el-desarrollo-sostenible-de-ecuador>

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Simiátug. (2024). *Actualización*

del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Simiátug.

Simiátug, Bolívar: GAD Parroquial Rural de Simiátug.

[file:///C:/Users/HP/Downloads/PDYOT%20SIMIATUG%20CON%20ACTAS-](file:///C:/Users/HP/Downloads/PDYOT%20SIMIATUG%20CON%20ACTAS-signed.pdf)
signed.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Simiátug. (2021).

<https://www.gadpsimiatug.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/PDOT-SIMAITUG-2021-2023.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar. (2022). *Plan Técnico de*

Manejo del Área de Protección Hídrica Simiátug. Dirección de Gestión Ambiental del GADPB. <https://www.bolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/Plan-Tecnico-de-Manejo-APH-Simiatug.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Bolívar. (2025). *Plan Técnico de*

Manejo del Área de Protección Hídrica Simiátug. Guaranda, Bolívar: Prefectura de Bolívar. <https://www.bolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2025/06/Plan-Tecnico-de-Manejo-APH-Simiatug.pdf>

Gomez Pozo, M. X., y Martínez Espín, J. M. (2026). 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.

Groffman, P., Baron, J., Blett, T., Gold, A., Goodman, I., Gunderson, L., . . . Wiens, J. (30 de Enero de 2006). Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management or an Important Concept with No Practical Application? 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0142-z>

Guamán Ramírez, T. D., y Vite Pilligua, D. E. (2026). VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN HÍDRICA EN LA

COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN
GUARANDA. PERIODO MARZO – JULIO 2026.

Guaman Stalin, J. P. (2026). Acoplamiento de un modelo espectral global habilitado por isótopos (IsoGSM) con modelado hidrológico mediante corrección basada en isótopos de flujo de corriente. *Wiley*.

Hofstede, R. (14 de 09 de 2023). *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro*. Quito: USFQ PRESS.

<https://libros.usfq.edu.ec/index.php/usfqpress/catalog/view/32/67/177>

Hofstede, R., y Llambí, L. (2020). Plant Diversity and Biogeography of the Tropical Andes. <https://adaptacionandes.org/wp-content/uploads/2022/07/35-HofstedeLlambi2020-PlantDiversityParamos.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2022). Sexto informe de evaluación del IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/summary-for-policymakers/>

Lazo, P., G.M, M., McDonnell J, J., y Crespo, P. (2019). The role of vegetation, soils, and precipitation on water storage and hydrological services in Andean páramo catchments. 572, 805-819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.050>

Llambí, L. D. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos: Páramos andinos*. Quito: Proyecto Páramo Andino / FLACSO Andes.
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/items/e8cd4441-aac9-441c-9408-0665719983c3>

MAATE. (2022). *Resolución Nro. MAATE-DZ5-DAPH-4373-2022-R: Declaratoria del Área de Protección Hídrica Simiátug*. Dirección Zonal 5 del MAATE.

- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos para el Ministerio del Medio Ambiente*. Chile: Ministerio del Medio Ambiente de Chile. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Propuesta-Marco-Conceptual-Definicion-y-Clasificacion-de-Servicios-Ecosistemicos_V1.0_Alta.pdf
- Muñoz-Jácome, E. A., Yanqui-Ushiña, J. F., Abarca-Bonilla, E. M., Vaca-Cárdenas, M. L., Brito-Mancero, M. Y., Cushquicullma-Colcha, D. F., y Vaca-Cárdenas, P. V. (2026). Edelweiss Applied Science and Technology, Vol. 10 No. 2 (2026). *Influencia de la textura del suelo, la cobertura del suelo y la actividad fotosintética en la composición de la flora de tres gradientes altitudinales del humedal de Potrerillo en la reserva de Chimborazo*. <https://learning-gate.com/index.php/2576-8484/article/view/11974>
- Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales – Instituto Nacional de Biodiversidad. (2015). *Plantas de los páramos del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador*. Quito: Instituto Nacional de Biodiversidad. https://inabio.biodiversidad.gob.ec/wp-content/uploads/2018/12/L_PLANTAS-DE-LOS-PARAMOS-DEL-DMQ-1.pdf
- Naciones Unidas. (s.f.). *El Acuerdo de París*. Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Naturaleza y Cultura Internacional. (2025). *Páramo*. <https://www.natureandculture.org/es/bosques/paramo/>

- Nicolalde, J. W., y Paredes, N. A. (2026). Cantidad y calidad de agua ante escenarios de cambio climático en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiatug, cantón Guaranda. Guaranda, Bolívar, Ecuador.
- Ochoa, S. A., Suárez Robalino, E., Ochoa-Tocachi, B., Calle, T., Fuentes, P., De Bièvre, B., . . . Torres, M. (2016). *Hydrological connectivity in tropical alpine ecosystems...*
<https://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2024/06/Buenas-Practicas-Conservacion-y-Restauracion-de-HAA-15-11-2021.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (26 de enero de 2024). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Páez-Bimos, S., Molina, A., Calispa, M., Delmelle, P., Lahuatte, B., Villacís, M., . . . Vanacker, V. (11 de Abril de 2023). *Soil–vegetation–water interactions controlling solute flow and chemical weathering in volcanic ash soils of the high Andes*.
<https://hess.copernicus.org/articles/27/1507/2023/>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought (Research Paper No. 45)*. Department of Commerce, Weather Bureau.
https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf
- Pettorelli, N., Sadie, R., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jędrzejewska, B., Lima, M., y Kausrud, K. (2011). El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI): éxitos imprevistos en ecología animal. <https://doi.org/10.3354/cr00936>

Robert Hofstede. (2001). *YUMPU*.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/51969080/los-paramos-del-mundopdf-condesan/13>

Romoleroux, K. (2019). *Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los páramos de Oyacachi*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

<file:///C:/Users/HP/Downloads/Descarga%20texto%20completo.pdf>

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2018). *Glosario de términos de gestión de riesgos de desastres: guía de consulta*. Samborondón, Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos. <file:///C:/Users/HP/Downloads/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>

Serrano Giné, D., y Galárraga Sánchez, R. (2015). El páramo andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. 76(278). <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/estgeogr.201513>

Simiatug), G. A. (2022). <https://www.simiatug.com/wp-content/uploads/2025/04/PDYOT-SIMIATUG-CON-ACTAS-signed.pdf>

Stefany, A. (2025). Resiliencia ante los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y la salud pública en Ecuador. *Revista de Sistemas e Desenvolvimento*. <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/49212/38527/503164>

Thierry, H., Lael, P., y Brian, R. (2021). Next steps for ecosystem service models: Integrating the social–ecological systems framework and human well-being. *FACETS*, 6(1), 1607-1636. <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0116>

Ulloa, C. (2008). *Guía de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas*.

Cuenca: Grafisum.

<https://www.mobot.org/MOBOT/research/paramo/pdf/GuiaPlantas.pdf>

Villarreal et. al. (2023). *Spatio-Temporal Description of the NDVI*.

<file:///C:/Users/HP/Downloads/sustainability-15-11562.pdf>

Villarreal-Veloz, J., Zapata-Ríos, X., Uvidia-Zambrano, K., y Carla Borja-Escobar. (26 de junio de 2023). Descripción espacio-temporal del NDVI (MODIS) de los pastos Tussock ecuatorianos y su vínculo con las variables hidrometeorológicas y los índices climáticos globales. *Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/15/11562>

Vuille, M. (Marzo de 2013). *Climate Change and Water Resources in the Tropical Andes*.

<https://doi.org/10.18235/0009090>

Wilks, D. S. (2020). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (4 ed.). Academic

Press. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03921-6>

World Meteorological Organization. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*.

https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf

WorldClim. (2025). Future climate data.

<https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de Observación

FICHA DE OBSERVACIÓN	
Código de ficha:	
Fecha de observación:	
Hora de inicio / fin:	
Observadores:	
Sitio / punto GPS:	
Condiciones climáticas durante la observación:	
Características biofísicas del área de estudio • Tipo de ecosistema predominante (páramo herbáceo, matorral, altoandino, bosque andino, pastizal intervenido, plantación forestal, otros) • Cobertura de suelo dominante (páramo conservado, cultivos, pastos, suelo desnudo, infraestructura) • Pendiente aproximada (baja <15%, media 15-30%, alta >30%). • Presencia de cuerpos de agua (quebradas, manantiales, bofedales, lagunas), descripción, número y estado (claro/turbio, continuidad de flujo).	
Servicios ecosistémicos observados	
Tipo de servicio ecosistémico	Descripción breve
Provisión	Bienes materiales que se obtienen de la naturaleza.

Regulación	Procesos naturales que mantienen el equilibrio del ecosistema.
Culturales	Beneficios no materiales que aportan bienestar y valor social.
Apoyo	Procesos ecológicos esenciales que permiten que los demás servicios existan.
Evidencias locales: Cambios en fecha de lluvias, reducción de caudales en época seca, heladas más frecuentes, etc. Observaciones cualitativas: Descripción del paisaje, estado de conservación, relación comunidad.	
INDICADORES	
Indicador: Regulación Hídrica	Capacidad del ecosistema para infiltrar, almacenar, retener y liberar el agua de forma gradual, contribuyendo a la estabilidad del ciclo hidrológico y del caudal de ríos y fuentes.
Indicador: Control de Erosión	Es la función del ecosistema que evita la pérdida de suelo mediante la protección de la vegetación, la estabilidad de raíces y la cobertura vegetal que reduce el impacto del viento y el agua.
Indicador: Hábitat de Fauna	Es el espacio natural que proporciona alimento, refugio y condiciones adecuadas

	para que las especies animales vivan, se reproduzcan y se desplacen.
Indicador: Uso	Es la actividad o función actual que los seres humanos realizan o asignan en el área observada, como conservación, agricultura, ganadería, reforestación o turismo.
Indicador: Estado	
Cobertura	Estado del ecosistema
>70%	Natural
40 – 70%	Moderadamente Intervenido
<40%	Altamente Intervenido
Calificación	
	Bueno
	Medio
	Alto
NOTA: TOMAR FOTO A CADA SERVICIO ECOSISTÉMICO	

Tipo de servicio ecosistémico	Coordenada (x, y)	Regulación hídrica	Control de Erosión	Hábitat de Fauna	Uso	Estado

Anexo 2: Encuesta



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE TITULACIÓN

“Valoración de los servicios ecosistémicos en la zona de producción hídrica en la comunidad de Cruz de Ventanas de la parroquia Simiatug, Provincia de Bolívar: Ante escenarios de cambio climático”

Instructivo

La presente encuesta forma parte del trabajo de titulación titulado “Valoración de los servicios ecosistémicos ante escenarios de cambios climáticos en el área de protección hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiatug, cantón Guaranda. Su propósito es obtener información sobre la percepción y valoración que tienen los habitantes de la comunidad respecto a los servicios ecosistémicos que provee el páramo, con el fin de orientar propuestas de conservación y sostenibilidad hídrica.

Población objetivo

La encuesta está dirigida a habitantes de la comunidad de Cruz de Ventanas que residan de forma permanente en el sector y que tengan conocimiento de las actividades productivas y del uso del páramo.

Confidencialidad y ética

La información recopilada será utilizada únicamente con fines académicos y se presentará de forma agregada, sin identificar de manera individual a los participantes.

Nombre:

Sexo:

Edad:

Cargo (Rol):

Años que vive en la comunidad:

BLOQUE I – DIMENSIÓN SOCIAL

4. ¿Cómo calificaría la importancia del páramo para su comunidad?

- ☐ Muy importante
- ☐ Importante
- ☐ Poco importante
- ☐ Sin importancia

5. ¿De qué manera se beneficia su comunidad del páramo?

- ☐ **Provisión de agua** (para consumo humano, riego o abrevadero de animales).
- ☐ **Protección del suelo** (conservación de la humedad, protección del suelo contra erosión y control de caudales)
- ☐ **Valor Paisajístico y biodiversidad** (turismo, belleza natural, refugio de fauna silvestre).
- ☐ **Valor cultural y ancestral** (sitios sagrados, identidad comunitaria, medicina tradicional).
- ☐ **Soporte agropecuario directo** (zonas de pastoreo para ganado)

6. ¿Participaría en actividades comunitarias para la conservación del páramo si la comunidad recibiera incentivos económicos a cambio?

- Sí, participaría, aunque no hubiera incentivos
- Sí, participaría si existieran incentivos económicos
- Participaría solo con apoyo técnico o material, sin necesidad de incentivos monetarios
- No participaría bajo ninguna condición

BLOQUE II – DIMENSION AMBIENTAL (SERVICIOS ECOSISTÉMICOS)

7. ¿Cuál considera que es el estado actual de conservación del páramo en su comunidad?

- Excelente / No intervenido
- Bueno / Poco intervenido
- Regular / Medianamente degradado
- Malo / Muy degradado

8. ¿Qué cambios ha observado en el páramo durante los últimos cinco años?

- Disminución en la disponibilidad de agua
- Reducción de la vegetación nativa (pajonal - almohadilla) por quemas o pastoreo
- Aumento de contaminación
- Aumento drástico de eventos climáticos extremos (sequías prolongadas o heladas).
- Pérdida de rendimiento en cultivos o ganadería
- Ningún cambio notable

9. ¿Qué instrumentos o políticas conoce usted para el manejo del páramo de Cruz de Ventanas?

- Acuerdo Ministerial N° 064 – Política de Ecosistemas Andinos
- LORHUYA – Ley de Recursos Hídricos (2014)
- COOA – Código Orgánico del Ambiente (2017)

- Área de Protección Hídrica Simiátug – Acuerdo Ministerial MAATE (2022-091)
- Protección de ecosistemas andinos
- Reglamentos o acuerdos internos de la comunidad
- Declaración comunitaria de área de conservación
- Ninguno
- Otro: _____

¿Qué acciones cree que la comunidad podría implementar para conservar el páramo?

- Ecoturismo como alternativa económica
- Vegetación de especies nativas
- Regulaciones comunitarias para el uso del páramo
- Prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles
- Comités de vigilancia y monitoreo comunitario
- Otro: _____

BLOQUE II-A DIMENSIÓN CAMBIOS CLIMÁTICOS

10. En comparación con hace unos 10 años, evalúe el cambio en la frecuencia de los siguientes eventos climáticos en su comunidad:

Evento Climático	Ha disminuido mucho	Ha disminuido	Se mantiene igual	Ha aumentado	Ha aumentado mucho
Sequías (falta de lluvia prolongada)					
Lluvias Extremas (aguaceros intensos cortos)					
Heladas (fríos extremos que queman cultivos)					

11. Indique el nivel de afectación (daño) que causan estos eventos climáticos directamente en la economía y seguridad de su hogar:

Evento Climático	Ningún impacto	Bajo Impacto	Moderado Impacto	Alto Impacto
Sequías (pérdida de agua / pastos)				
Lluvias Extremas (daño en vías / deslaves)				
Heladas (destrucción de cultivos agrícolas)				

BLOQUE III DIMENSIÓN ECONÓMICA

12. ¿Cuál es la importancia del páramo para la actividad económica principal de su familia?

- ☐ Muy importante
- ☐ Importante
- ☐ Poco importante
- ☐ Sin importancia

13. ¿Actualmente, paga mensualmente por el servicio de agua que recibe?

- ☐ Sí - ¿Cuánto?: _____
- ☐ No

14. Si se implementara un programa comunitario de restauración y vigilancia del APH para asegurar que el agua no escasee en el futuro, ¿cuánto dinero estaría dispuesto a aportar mensualmente su hogar para este fondo de conservación hídrica?

- ☐ No estoy dispuesto a pagar nada (\$0.00 USD)
- ☐ Entre \$0.01 y \$3.00 USD mensuales
- ☐ Entre \$3.01 y \$6.00 USD mensuales
- ☐ Más de \$6.00 USD mensuales

15. ¿Si el páramo se deteriora y sus servicios disminuyeran, ¿cómo afectaría eso en su vida diaria?

- Pérdida de acceso a recursos naturales directos
- Insuficiencia en el suministro de agua potable
- Reducción de oportunidades laborales y económicas
- Afectación a la producción agropecuaria
- No me afectaría de forma significativa

16. ¿Si en lugar de conservar el páramo se promovieran actividades que lo degraden (minería, expansión agrícola intensiva), qué compensación económica mensual aceptaría usted?

Referencia: Programa Socio Bosque paga hasta USD 5/ha/mes para predios pequeños; los esquemas PSA documentados en Ecuador reconocen USD1/ha/mes para páramo no intervenido (COOA 2017, Yaguachi & Carrión, 2004)

- Ninguna; no aceptaría compensación
- Menos de \$5 mensuales
- Entre \$6 y \$15 mensuales
- Entre \$16 y \$30 mensuales
- Más de \$31 mensuales
- Otro monto: _____

17. ¿Qué tipo de apoyo o forma de compensación considera más adecuada para que la comunidad participe activamente en la conservación del páramo?

- Capacitaciones por parte de instituciones (gobierno, ONG, MAATE)
- Herramientas y recursos materiales para actividades de conservación
- Formación específica en manejo ambiental y páramo
- Programas de apoyo para actividades agrícolas o ganaderas sostenibles
- Mejoras en infraestructura comunitaria (escuelas, centros de salud, vías)
- Pagos directos en efectivo a las familias
- Financiamiento para proyectos productivos
- Otro: _____

BLOQUE IV – DIMENSIÓN CULTURAL

18. ¿El páramo tiene algún significado cultural, espiritual o identitario para usted o su familia?

- ☐ Sí – Describalo brevemente: _____
- ☐ No

19. ¿Existen prácticas o conocimientos ancestrales en su comunidad relacionados con el cuidado del páramo?

- ☐ Sí - ¿Cuáles? _____
- ☐ No

20. ¿Considera usted que proteger legal y comunitariamente el páramo bajo la figura de APH ayuda a mantener vivas las costumbres, tradiciones y la identidad de la comunidad de Cruz de Ventanas?

- ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ De acuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Totalmente en desacuerdo

Anexo 3. Registro fotográfico



Levantamiento de la información de los servicios ecosistémicos en el páramo de Simiatug.



Encuesta realizada a los jefes de hogar en la comunidad Cruz de Ventanas.



Anexo 4

ArchivoInicioInsertarDisposición de páginaFórmulasDatosRevisarVistaAyudaNitro Pro

Calibre: 11A A⁺ A⁻

GeneralFormato condicionalDar formato como tablaEstilos de celdaInsertarEliminarFormatoCompartir

Compartir

Compartir

Ordenar y FiltrarBuscar y seleccionar

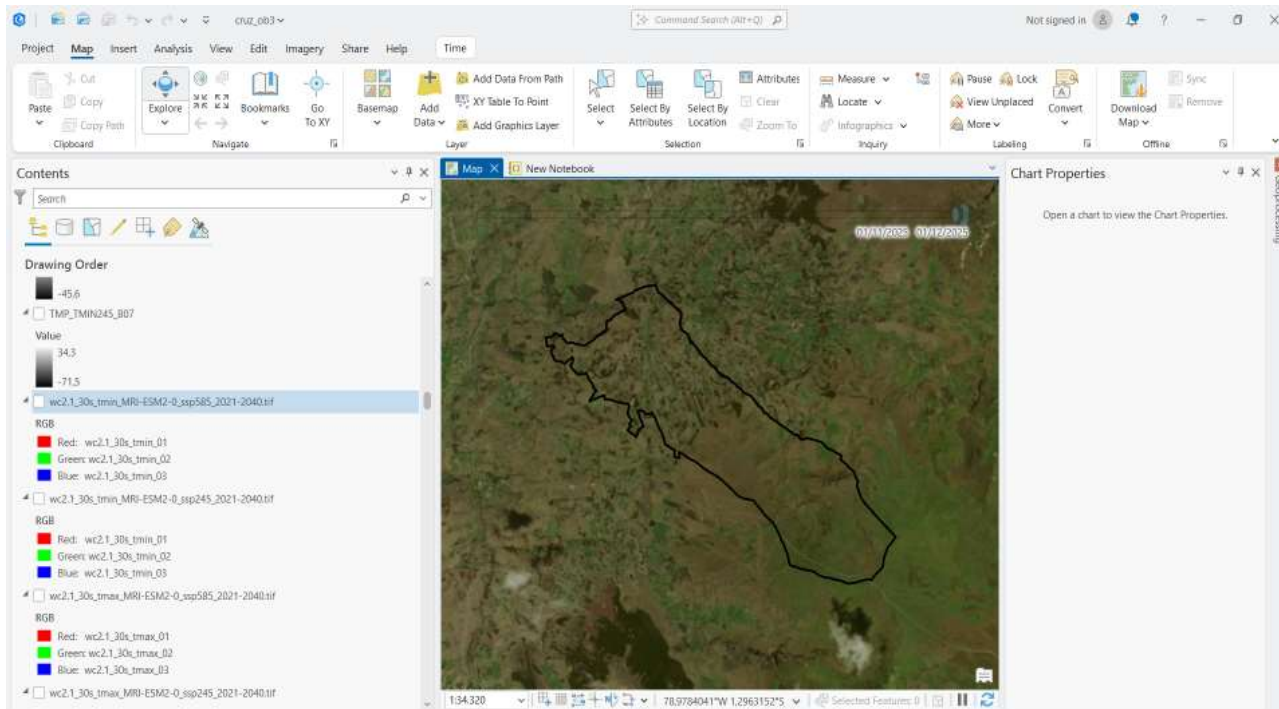
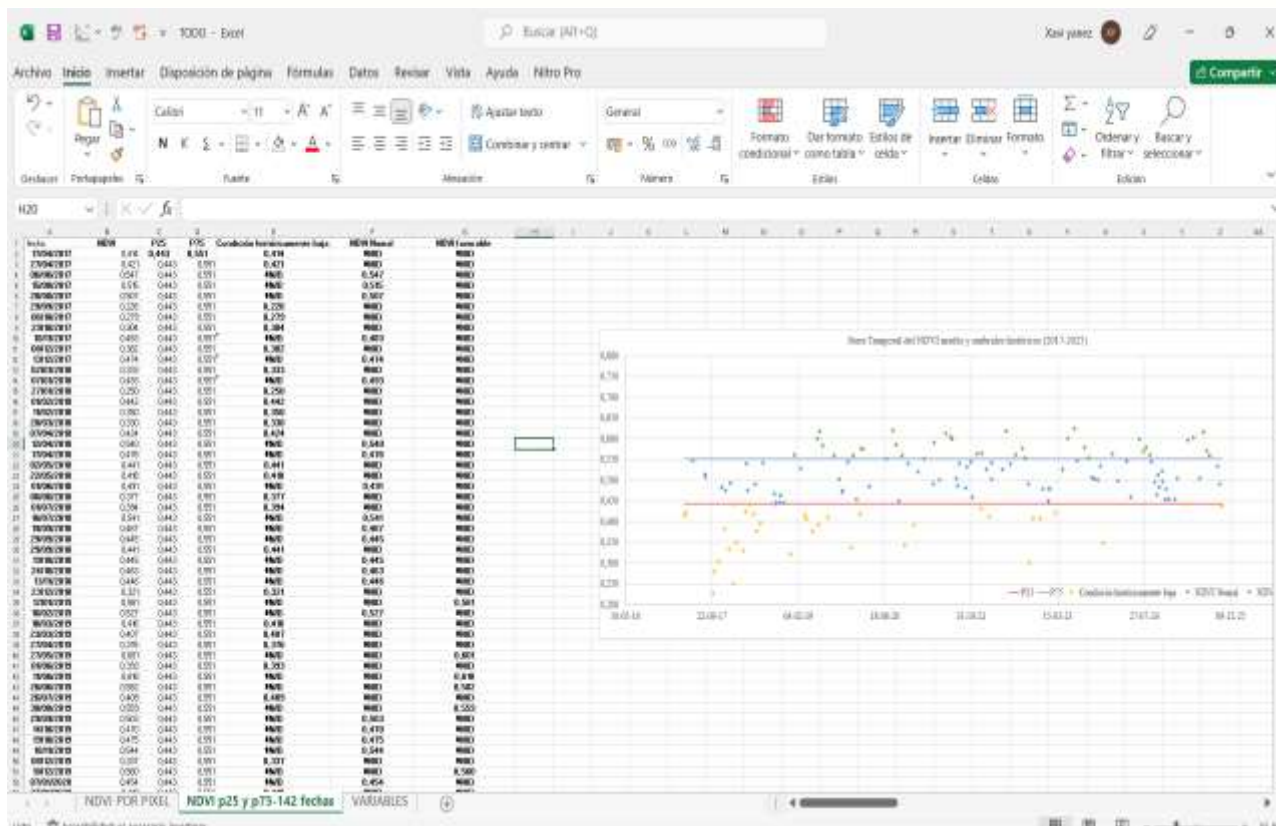
Compartir

Ordenar y FiltrarBuscar y seleccionar

Año	Mes	Humedad	PM2.5	Precipitación	T. min.	T. max.
2017	Enero	8.9	-2.68	26.0	9.9	9.9
	Febrero	52.9	-4.53	96.4	1.3	9.6
	Marzo	19.2	-2.38	122	1.9	8.5
	Abril	18.4	-2.4	38.4	1.9	9.9
	Mayo	19.0	-2.73	54.0	1.3	9.0
	Junio	93.0	-2.38	96.7	1.4	9.6
	Julio	1.0	-2.18	30.7	-0.1	8.0
	Agosto	30.9	1.85	27.2	0.3	8.0
	Septiembre	44.4	1.98	31.9	0.1	8.0
	Octubre	45.0	-2.4	64.1	0.4	9.6
	Noviembre	21.3	-1.15	65.5	0.4	9.6
	Diciembre	22.7	-2.8	111	0.8	0.9
2018	Enero	26.4	-2.73	43.1	0.9	9.9
	Febrero	26.7	-2.68	11.1	1.3	9.6
	Marzo	43.9	1.98	61.4	1.9	9.6
	Abril	50.0	4.9	77.0	0.8	9.6
	Mayo	49.0	-2.73	57.9	1.0	8.7
	Junio	40.0	-4.4	38.9	-0.1	8.0
	Julio	1.0	-4.45	26.9	0.3	8.0
	Agosto	17.4	-4.53	20.9	0.9	8.6
	Septiembre	8.7	-4.53	32.7	-0.3	9.6
	Octubre	8.0	-2.05	40.9	0.0	0.0
	Noviembre	10.0	-4.7	70.4	1.0	9.6
	Diciembre	47.0	-4.7	8.0	0.8	0.7
2019	Enero	8.9	-4.88	5.9	1.3	0.7
	Febrero	56.7	-1.4	110.0	1.0	9.0
	Marzo	17.4	-2.73	56.7	0	0.0
	Abril	75.4	-3.4	80.9	1.4	14.4
	Mayo	38.0	1.9	45.0	0	9.6
	Junio	38.0	1.3	41.0	0	9.4
	Julio	75.0	-1.3	26.7	-0.2	8.0
	Agosto	44.4	-2.73	7.1	-0.4	8.0
	Septiembre	1.0	-2.4	30.0	0.3	9.6
	Octubre	20.4	-3.45	54.0	0.8	9.6
	Noviembre	30.0	-2.98	67.7	1.3	0.7
	Diciembre	28.7	-2.7	47.4	1.0	10.0
2020	Enero	20.4	-2.73	26	1.0	0.4
	Febrero	43.0	-3.15	37.4	1.0	0.0
	Marzo	43.0	-3.15	70.4	2.4	0.0
	Abril	7.0	-2.05	40.4	1.0	9.6
	Mayo	98.0	-2.4	11.0	1.9	14.4
	Junio	11.4	-4.7	49.7	1.0	9.6
	Julio	47.0	-1.98	88	1.9	8.6
	Agosto	30.0	-3.48	71.0	0.3	9.6
	Septiembre	30.0	1.9	67.7	0.1	8.0
	Octubre	11.4	-4.88	42.9	-0.1	9.6
	Noviembre	1.0	-4.4	38.6	2.4	17.0

NOVI POR FOXTELNOVI p25 y p75-142 fichas

VARIABLES



Google Earth Engine

Buscar lugares y conjuntos de datos...

grand-alo-410922

Guiones Documentos Activos

MAPA_2_COMPARACION_NDVI_SECT...

Obtener en... Algoritmo... Correr... Reinicia... Aplicaciones

Scripts de filtro...

NUEVO

Propietario (1)

- users/danielavite/UEB
 - OBJETIVO_3
 - Esta carpeta está vacía.
 - MAPA_1_NDVI_CRUZ_FINAL
 - MAPA_2_COMPARACION_NDVI_SECT...
 - MAPA_PRUEBA
 - MAPA_PRUEBA
 - MAPA_PRUEBA_11

Escritor

Lector (1)

- users/mapbiomas/user-toolkit
 - mapbiomas-user-toolkit-argentina-mosaics.js
 - mapbiomas-user-toolkit-calculate-area-using-v...
 - mapbiomas-user-toolkit-calculate-area.js
 - mapbiomas-user-toolkit-deforestation-regener...
 - mapbiomas-user-toolkit-degradation.js
 - mapbiomas-user-toolkit-download-mosaics.js
 - mapbiomas-user-toolkit-fire.js
 - mapbiomas-user-toolkit-hulc.js
 - mapbiomas-user-toolkit-irrigation.js
 - mapbiomas-user-toolkit-lulc.js
 - mapbiomas-user-toolkit-mining.js
 - mapbiomas-user-toolkit-pasture.js
 - mapbiomas-user-toolkit-soil.js
 - mapbiomas-user-toolkit-water.js

Archivo

No hay repositorios accesibles. Haga clic en Actualizar para volver a comprobarlo.

Ejemplos

```

425 };
426
427 print(
428   'Antisana: sector comparable de 116,64 ha'
429 );
430
431 print('=====');
432
433 print(
434   'Ventana utilizada: 36 x 36 píxeles de 30 m'
435 );
436
437 print(
438   'Dimensión: 1080 x 1080 m'
439 );
440
441 print(
442   'Superficie teórica: 116,64 ha'
443 );
444
445 print('=====');
446
447
448 // =====
449 // 16. CENTRAL MAPA
450 // =====
451 //
452 // Se utiliza una coordenada fija para evitar el error
453 // de Collection.geometry().
454 //
455 // =====
456
457 Map.setCenter(
458   -78.60,
459   -0.90,
460   7
461 );
462
463
464 //

```

Inspector Consola Tareas Preguntar

Buscar o cancelar varias tareas en el [Administrador de tareas](#) o prueba el [Página de tareas en la consola de cloud](#).

SUBMITTED TASKS

Mapa_2_Sectores_Comparacion_NDVI	✓	<1m
NDVI_Medio_Cruz_Ventanas_2019_2025	✓	<1m
NDVI_Antisana_Definitivo	✓	<1m
Ingest image: 'projects/grand-alo-410922/assets/Map8...	✓	<1m
mapbiomas-ecuador-collection-20-ecuadorantisana55-20...	✓	11m
NDVI_Cotopaxi_Definitivo	✓	<1m
Ingest image: 'projects/grand-alo-410922/assets/Map8...	✓	<1m
mapbiomas-ecuador-collection-20-ecuadorcotopaxi49-20...	✓	<1m
NDVI_Chimborazo_Definitivo	✓	<1m
NDVI_Cruz_Ventanas_Definitivo	✓	<1m
Ingest image: 'projects/grand-alo-410922/assets/Map8...	✓	<1m
mapbiomas-ecuador-collection-20-ecuadorchimborazo27...	✓	1m
Ingest image: 'projects/grand-alo-410922/assets/Map8...	✓	<1m
mapbiomas-ecuador-collection-20-ecuadorsimluga15-20...	✓	<1m
Ingest table: 'projects/grand-alo-410922/assets/Cruz_V...	✓	<1m
Ingest table: 'projects/grand-alo-410922/assets/Cruz_V...	✓	<1m
Ingest table: 'projects/grand-alo-410922/assets/Cruz_V...	✓	<1m