



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE
DESASTRES**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**“CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA
SIMIÁTUG, CANTÓN GUARANDA, PERÍODO MARZO – JULIO 2026”**

AUTOR(A) (ES):

**NICOLALDE MAYNAGUEZ JHON WILLIAMS
PAREDES LEDESMA NELLY ARACELY**

DIRECTOR(A):

ING. MARÍA TRÁNSITO VALLEJO ILLIJAMA

**GUARANDA – ECUADOR
2026**

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO
CLIMÁTICO EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS,
PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN GUARANDA, PERÍODO MARZO – JULIO 2026”**

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a Dios por la salud y vida, a la Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano, carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres y a sus docentes por cada enseñanza brindada, llena de principios y valores que han fortalecido en nuestra formación académica.

De manera especial agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional durante toda nuestra preparación en este camino, siendo nuestra guía y motivación para cumplir la meta anhelada.

Un agradecimiento profundo a nuestra tutora Ing. María Vallejo Mgtr. por su guía, paciencia y sabiduría en cada etapa de nuestra investigación; y además expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Numa Gaibor M.Sc. por ser nuestro apoyo incondicional con las diferentes inquietudes y sugerencias en nuestro trabajo; estamos eternamente agradecidos de habernos permitido trabajar en el proyecto de la Universidad denominado “COMPONENTE: SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA DE CONSERVACIÓN HÍDRICA DE LA PARROQUIA SIMIÁTUG (COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS), CANTÓN GUARANDA”

Finalmente agradecemos al Laboratorio del Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la UEB por permitirnos el acceso a equipos y recursos esenciales que hicieron posible nuestra investigación.

Nicolalde Jhon & Paredes Nelly

DEDICATORIA

Dedico este logro primeramente a Dios, por darme salud, guiar mis pasos y darme la constancia ante cada obstáculo.

A mis padres, cuya paciencia, consejos y la confianza ciega que me han permitido alcanzar hoy una de mis metas más anheladas.

Nicolalde Jhon

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza en los momentos difíciles.

A mi madre Ana Ledesma por estar siempre a mi lado y contar con su apoyo en cada momento incluso cuando yo misma dude de mis capacidades. Gracias por creer en mí y enseñarme que con la perseverancia y dedicación todo se puede lograr, este logro es suyo.

A mis hermanas Valeria, Selena, Daniela y María por nunca dejar de creer en mí, sus palabras de motivación, cariño y acompañarme a lo largo de este proceso. Gracias por recordarme siempre que podía lograrlo.

Y a ese angelito que físicamente no está presente, pero permanece siempre en mi corazón, sé que desde el cielo está orgulloso al verme alcanzar esta meta, logró dedicado a todo lo que me enseñó y dejó en mi vida.

Paredes Nelly

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

CERTIFICADO DEL TUTOR.

Guaranda, 12 de octubre de 2026.

La suscrito Ingeniera María Vallejo Ilijama, en calidad de Directora del Trabajo de Titulación de Pre Grado de la carrera de Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD CRUZ DE VENTANAS, PARROQUIA SIMIÁTUG, CANTÓN GUARANDA, PERÍODO MARZO – JULIO 2026”; realizado por los señores: **Nicolalde Maynaguez Jhon Williams y Paredes Ledesma Nelly Aracely** 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.



Validar únicamente en FirmaM.
Firmado electrónicamente por:
**MARIA TRANSITO
VALLEJO ILIJAMA**

ING. MARÍA VALLEJO ILIJAMA, Mgtr.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

DERECHOS DE AUTOR

Yo/nosotros Nicolalde Maynaguez Jhon Williams y Paredes Ledesma Nelly Aracely portador/res de la Cédula de Identidad No 2300405616 y 0202297016 en calidad de autor/res y titular / es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: Cantidad y calidad del agua ante escenarios de cambio climático en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, período marzo - julio de 2026, modalidad Proyecto de Investigación, 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.



Nombre del Autor 1
Jhon Williams Nicolalde Maynaguez



Nombre del Autor 2
Nelly Aracely Paredes Ledesma

ÍNDICE DE CONTENIDO:

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	17
1.1. Planteamiento del Problema	17
1.2. Formulación del Problema	18
1.3. Preguntas de investigación.....	19
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Justificación	20
1.6. Hipótesis	21
1.7. Variables	21
1.7.1. Operacionalización de Variables	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Referencial y Georreferencial	25
2.2. Antecedentes	28
2.3. Marco Científico	33
2.3.1. Definición y Caracterización del Páramo en el Ecuador	33
2.3.2. Efectos del Cambio Climático en el Páramo	33
2.3.3. Cantidad y Calidad del Agua en los Páramos	34
2.4. Marco Legal.....	36
2.5. Marco Conceptual.....	40

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	41
3.1. Tipo de Investigación.....	41
3.2. Enfoque de la investigación	41
3.3. Métodos de Investigación	42
3.4. Diseño de la investigación	42
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos.....	43
3.6. Universo, Población y Muestra.....	45
3.7. Técnicas de análisis y procesamiento de la información	46
3.7.1. Objetivo 1.....	46
3.7.1.1. Medición de caudal	46
1. Fórmula matemática y física fundamental de la hidrodinámica – medición de caudal ...	46
3.7.1.2. Índice de Calidad de Agua	46
3.7.1.3. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente	
51	
3.7.2. Objetivo 2.....	54
3.7.2.1. Datos históricos del Satélite MERRA 2.....	54
3.7.2.2. Cálculo de la precipitación media.....	55
3.7.2.3. Cantidad de Agua a Futuro	56
3.7.3. Objetivo 3.....	59
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados.....	60
4.1.1. Resultado Objetivo 1.....	60

4.1.1.1.	Cuantificar la cantidad del agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.....	60
4.1.1.2.	Calidad de agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.....	72
4.1.2.	Resultado Objetivo 2.....	78
4.1.2.1.	Escenarios a futuro.....	107
4.1.3.	Resultado Objetivo 3.....	114
4.2.	Comprobación de hipótesis.....	118
4.3.	Discusión.....	119
CAPÍTULO V. PROPUESTA		122
CONCLUSIONES		122
RECOMENDACIONES.....		123
BIBLIOGRAFÍA		125
ANEXOS		130
ÍNDICE DE TABLAS:		
Tabla 1.	<i>Datos básicos de Simiátug (Parroquia)</i>	25
Tabla 2.	<i>Datos básicos de Cruz de Ventanas (Comunidad)</i>	26
Tabla 3.	Parámetros de calidad de agua:.....	34
Tabla 4.	<i>Parámetros a analizarse ICA-NSF</i>	47
Tabla 5.	<i>Parámetros adicionales</i>	47
Tabla 6.	<i>Criterios de calidad del ICA-NSF para agua de consumo</i>	48
Tabla 7.	<i>Valores del factor de ponderación</i>	49

Tabla 8.	<i>Criterios De Calidad De Fuentes De Agua Para Consumo Humano Y Doméstico</i>	52
Tabla 9.	<i>Criterios De Calidad De Aguas Para Riego Agrícola</i>	53
Tabla 10.	<i>Cantidad de agua</i>	61
Tabla 11.	<i>Resultados comparativos de cantidad de agua en las fuentes hídricas</i>	69
Tabla 12.	<i>Interpretación de resultados de cantidad de agua</i>	70
Tabla 13.	<i>Recolección de agua para el análisis de fisicoquímico y biológico</i>	72
Tabla 14.	<i>Resultados del laboratorio UEB</i>	73
Tabla 15.	<i>Índice De Calidad Del Agua - NSF</i>	74
Tabla 16.	<i>Resultados de ICA NSF</i>	74
Tabla 17.	<i>Calidad de agua de consumo</i>	75
Tabla 18.	<i>Comparación de resultados de laboratorio con TULSMA para consumo humano</i>	76
Tabla 19.	<i>Comparación de resultados de laboratorio con TULSMA para riego agrícola</i>	77
Tabla 20.	<i>Régimen climático OMM</i>	83
Tabla 21.	<i>Descripción de diagramas ombrotérmicos 1981–2025</i>	90
Tabla 22.	<i>Análisis por Década: Precipitación (mm)</i>	99
Tabla 23.	<i>Análisis por Década: Temperatura (°C)</i>	100
Tabla 24.	<i>Fuente 1 (Delta de precipitación ΔP)</i>	107
Tabla 25.	<i>Fuente 2 (Delta de precipitación ΔP)</i>	108
Tabla 26.	<i>Fuente 3 (Delta de precipitación ΔP)</i>	109
Tabla 27.	<i>Fuente 4 (Delta de precipitación ΔP)</i>	110

Tabla 28.	<i>Transformación de m³ a l/s</i>	111
Tabla 29.	<i>Cálculo del caudal</i>	112
Tabla 30.	Relación del caudal registrado y el caudal futuro	113
Tabla 31.	<i>Matriz de Selección de Variables Críticas para la Propuesta de Conservación</i> 116	

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1.	<i>Mapa base de la ubicación del área de estudio Cruz de Ventanas y fuentes de agua</i>	27
Figura 2.	<i>Diagrama de comportamiento temporal de temperatura Cruz de Ventanas 1981 – 2025</i>	79
Figura 3.	<i>Diagrama de comportamiento temporal de precipitaciones Cruz de Ventanas 1981 – 2025</i>	81
Figura 4.	<i>Comportamiento mensual de las precipitaciones (1981 - 2025)</i>	85
Figura 5.	<i>Comportamiento mensual de la temperatura (1981 - 2025)</i>	86
Figura 6.	<i>Resumen de los diagramas ombrotérmicos 1981 - 2025</i>	87
Figura 7.	<i>Resultados ombrotérmicos de sequías y anomalías</i>	95
Figura 8.	<i>Variabilidad interanual anomalías de precipitación y temperatura (1981–2025)</i> 97	
Figura 9.	Correlación con el método doble masa (Estación el Corazón)	101
Figura 10.	<i>Variabilidad hidrometeorológica con proyección dinámica (1981–2028) ...</i>	103
Figura 11.	<i>Escenario de riesgo climático por Súper Niño, análisis hidrometeorológico (1981–2028)</i>	105

Figura 12.	<i>Correlación de Spearman</i>	118
------------	--------------------------------------	-----

ÍNDICE DE FÓRMULAS:

1.	Fórmula matemática y física fundamental de la hidrodinámica – medición de caudal	46
2.	Fórmula del Índice de Calidad del Agua	48
4.	Fórmula del Delta de precipitación.....	58
5.	Fórmula del caudal futuro	59

INTRODUCCIÓN

Los páramos son considerados ecosistemas estratégicos para la producción, almacenamiento y conservación hídrica junto a la biodiversidad, el cual desempeña un papel fundamental para el abastecimiento de agua que es uno de los recursos más importantes para la vida; y dentro del ecosistema páramo para las comunidades aledañas y actividades productivas como el riego. Por parte de la prefectura de Bolívar mediante ordenanza se creó el Área de Conservación y Uso Sustentable (ACUS) en la parroquia Simiátug, comunidad Cruz de Ventanas ubicada en el cantón Guaranda, ya que su objetivo principal es proteger, conservar y restaurar la zona de producción hídrica que abastece de agua a la población local y contribuye al equilibrio ambiental de la región (GADPB, 2026).

No obstante, existen factores de variabilidad climática con cambios en los patrones de precipitación, temperatura y varias actividades antrópicas realizadas en el ecosistema páramo que pueden generar alteraciones en la cantidad y calidad del recurso hídrico. Por medio de estos aspectos importantes se hace necesaria la realización de estudios y análisis que permitan comprender cuál es el estado actual de las fuentes de agua y que comportamiento mantiene o se presentó frente a los cambios ambientales.

El trabajo de investigación se realizó con la finalidad de cuantificar la cantidad y calidad del agua de las fuentes hídricas delimitadas en el área de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas por medio de salidas de campo, análisis de laboratorio con parámetros fisicoquímicos y biológicos con la aplicación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF. Igualmente, se realizó un análisis de la variabilidad climática con datos históricos de 1981–2025 para temperatura y precipitación; con diseños de diagramas ombrotérmicos, anomalías climáticas y modelo hidrometeorológico que permiten identificar tendencias, períodos secos, lluviosos, condiciones anómalas y posibles proyecciones para los futuros años.

La motivación para el desarrollo de este estudio surge de la necesidad de generar información técnica que pueda contribuir a la conservación de los recursos hídricos del páramo, porque las fuentes de agua constituyen un elemento fundamental en el bienestar de la población y la sostenibilidad ambiental del territorio. También, el conocimiento climático y del estado actual de las fuentes hídricas permite identificar posibles amenazas asociadas a la disminución de caudales, contaminación del agua y alteraciones climáticas.

Finalmente, con toda la base de resultados obtenidos, se plantea una propuesta de medidas orientadas a la conservación de la zona de producción hídrica, con acciones de protección, monitoreo y manejo sostenible del recurso hídrico. El trabajo investigativo aporta información relevante para la gestión ambiental local y el fortalecimiento de estrategias de protección de los ecosistemas de páramo en la comunidad Cruz de Ventanas.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en la provincia Bolívar, cantón Guaranda, parroquia Simiátug, comunidad Cruz de Ventanas, considerada zona de producción hídrica, con el propósito de conocer las condiciones actuales del recurso hídrico y su relación con la variabilidad climática. Además, el estudio surgió ante la necesidad de conocer la afluencia de las fuentes de agua que abastecen a la comunidad y la relación frente cambios en la temperatura y precipitación pueden generar sobre su disponibilidad y conservación.

La parte metodológica se trabajó en tres etapas, primero, se cuantificó la cantidad y calidad del agua mediante salidas de campo, método volumétrico para el cálculo de caudales y análisis de laboratorio acorde al Índice de Calidad de Agua ICA-NSF. Seguido con la recopilación de registros históricos como la temperatura y precipitación correspondientes al período 1981–2025 de la plataforma (Satélite MERRA 2), para la elaboración de modelos climáticos, diagramas ombrotérmicos, análisis de anomalías y variabilidad interanual. Finalmente, con los resultados de los objetivos anteriores se formuló una propuesta de conservación sustentada en los resultados obtenidos y en las problemáticas identificadas durante el trabajo de campo.

En los resultados se evidenciaron variaciones en la cantidad de agua entre los diferentes períodos de monitoreo, así como, las diferencias en la calidad de las fuentes hídricas evaluadas. Con el análisis climático se pudo identificar períodos normales, lluviosos, secos y anómalos, además, una creciente variabilidad climática durante las últimas décadas. De la misma manera, se detectaron factores relacionados con actividades antrópicas y potenciales fuentes de contaminación que podrían afectar la sostenibilidad del recurso hídrico.

ABSTRACT

This research was conducted in the Cruz de Ventanas community, Simiátug parish, Guaranda canton, considered a water production zone, with the purpose of understanding the current conditions of the water resource and its relationship to climate variability.

Furthermore, the study arose from the need to understand the flow of water sources that supply the community and how changes in temperature and precipitation can affect their availability and conservation.

The methodological section was developed in three stages. First, the quantity and quality of water were quantified through fieldwork, a volumetric method for calculating flow rates, and laboratory analysis according to the NSF Water Quality Index (WQI). This was followed by the compilation of historical records, such as temperature and precipitation data from the Satellite MERRA 2 platform for the period 1981–2025, for the development of climate models, ombrothermic diagrams, and analyses of anomalies and interannual variability. Finally, based on the results obtained and the problems identified during the fieldwork, a conservation proposal was formulated.

The results revealed variations in water quantity between the different monitoring periods, as well as differences in the quality of the water sources evaluated. Climate analysis identified normal, rainy, dry, and anomalous periods, in addition to increasing climate variability over the last few decades. Similarly, factors related to human activities and potential sources of pollution that could affect the sustainability of the water resource were detected.

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del Problema

El agua es un recurso esencial a nivel mundial, de acuerdo con la ONU, alrededor del 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero solo un 2,5% es dulce y menos del 1% es accesible para el consumo humano y es utilizado para varios aspectos como uso doméstico, industrial y agrícola entre otros. En la actualidad, la escasez de agua está siendo una amenaza para el bienestar de la población y la productividad. En el año 2020, alrededor de 2.400 millones de personas vivían en países con estrés por escasez de agua, estos grandes desafíos se vieron agravados por los conflictos sociales y el cambio climático. En los últimos años, la eficiencia en el uso del agua presenta un aumento de 9 %, sin embargo, la escasez y el estrés hídrico de agua son motivo de preocupación en varias partes del mundo (ONU, 2023).

En Ecuador, la construcción de ocho centrales hidroeléctricas es una de las obras estratégicas que promueve un cambio efectivo para dejar de quemar combustibles fósiles y de esta manera, cuidar la naturaleza. Asimismo, el Gobierno ecuatoriano invirtió 1.213 millones de dólares en la construcción de una moderna infraestructura hídrica que beneficie la parte de riego y el control de inundaciones. Por esto las hectáreas de riego se duplicaron de 172.000 a 351.311 y el número de beneficiados por las obras de control fue de 200.000 a 532.000 habitantes (Gobierno del Ecuador, 2022).

En la salud pública el agua y el saneamiento son uno de los principales motores para la vida, el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) inspeccionó dos de los principales proyectos de suministro de agua potable de la provincia de Bolívar, como parte de un proceso de control y la vigilancia. El 10 y 11 de abril del 2026, la Dirección Provincial del Ambiente Bolívar visitó el Plan Maestro de Agua Potable de Guaranda y Sistema de Agua Potable de San Miguel, con el propósito de verificar si estos proyectos cuentan con la Licencia

Ambiental correspondiente para su operación. Las inspecciones se ejecutaron en coordinación con técnicos de las Empresas de Agua Potable de los Municipios en mención. En ambos casos, la verificación inició en la captación del agua en la Reserva del Chimborazo para la ciudad de Guaranda y en el Bosque Protector Cashca Totoras para San Miguel (MAE, 2014).

Guaranda es abastecido del servicio de agua potable a través de aguas subterráneas provenientes del arenal, el Chimborazo mismos que se encuentran cercanos al páramo de Simiátug. En Guaranda la empresa municipal (EMAPA-G) es responsable de la disposición final de las aguas residuales como agua potable y alcantarillado para la ciudad, con la finalidad de proteger la salud de la población Guarandeña con la contribución el mantenimiento de las fuentes hídricas del cantón para la obtención de una mejor economía y rentabilidad social en cada una de sus inversiones (EP-EMAPAG, 2025).

En la parroquia Simiátug, por los efectos del cambio climático la disponibilidad de cantidad y calidad de agua ha presentado varios cambios en los últimos años. Esta puede ser por la disminución de caudales en época de sequía, las fuertes precipitaciones que causan sedimentos, o por la producción agrícola no permitida en el ecosistema. La población local desconoce la información técnica sobre cómo las fluctuaciones en la cantidad y calidad de agua para implementar estrategias de adaptación y mitigación hacia las actividades humanas y el medio ambiente.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo influyen los escenarios de cambio climático en la cantidad y calidad de agua en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda?

1.3. Preguntas de investigación

1. ¿Cómo se cuantifica la cantidad y calidad del agua presente en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda?
2. ¿Cuál ha sido la variación entre precipitación y la temperatura durante el período 1981–2025 y de qué manera estos cambios se relacionan con el comportamiento del recurso hídrico en la comunidad Cruz de Ventanas?
3. ¿Con qué medidas de conservación pueden implementarse para proteger la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas frente a los efectos de la variabilidad climática y las actividades que pueden afectar la calidad y disponibilidad del agua?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar como los escenarios de cambio climático influyen en la cantidad y calidad de agua en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Cuantificar la cantidad y calidad de agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.
2. Generar modelos climáticos para determinar la variabilidad de temperatura y precipitación en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.
3. Establecer estrategias para conservación de la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.

1.5. Justificación

El trabajo de investigación corresponde a la línea de Gestión de Recursos Naturales, sub línea de Uso, manejo, conservación de cuencas hidrográficas; surge a partir de conocer y evaluar la cantidad y calidad agua del páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda, ante escenarios de cambio climático, ya que esto influye en disminución de caudales, pérdida de humedad y posibles riesgos de incendios en la época de sequías. En los últimos 15 años de haberlo mantenido sin la intervención del hombre, el Páramo de Simiátug ha sido declarado estado de conservación natural para el beneficio de las comunidades aledañas e incluso a nivel provincial y considerado protección de las fuentes hídricas para toda la parte agrícola y doméstica.

Por medio de la coordinación de la comunidad, se trabajó con la medición de caudales y en el uso eficiente del agua con sus respectivas muestras para examinar y conocer su calidad y de esta forma poder comprobar que sea segura para el consumo humano. Para la información climática se obtuvieron datos históricos para poder identificar los posibles escenarios de cambio climáticos que se podrían presentar acorde a los datos registrados, posteriormente, lograr establecer estrategias de conservación y el manejo sostenible del páramo.

El proyecto beneficia directamente a la comunidad de Cruz de Ventanas con la disponibilidad de agua para el uso doméstico y a su vez a los productores agrícolas. También, fortalecerá a las autoridades locales para la respectiva elaboración y establecimiento de políticas públicas y planes de manejo del páramo de Simiátug. Por esta razón, el estudio tiene la finalidad de proponer medidas de conservación de la calidad y cantidad de agua frente a futuros escenarios de cambio climático en el páramo para la respectiva conservación hídrica.

1.6. Hipótesis

H_0 : No existe relación estadísticamente significativa entre la variabilidad climática (precipitación y temperatura) y la cantidad y calidad de agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas.

H_1 : Existe relación estadísticamente significativa entre la variabilidad climática (precipitación y temperatura) y la cantidad y calidad de agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas.

1.7. Variables

Variable Independiente: Cambio climático

Variable Dependiente: Cantidad y calidad de agua

1.7.1. Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala	Instrumento
Dependiente: Cantidad y calidad de agua	Cantidad de agua: “volumen disponible para satisfacer las necesidades humanas y ambientales” (Lapo C, 2025).	Área	Extensión	m ²	Metro
		Volumen	Volumen	m ³	Libreta
					Recipiente de 1L
					Software
	Calidad de agua: “condiciones físicas, químicas y biológicas que determinan si es apta para consumo o uso humano” (Lapo C, 2025).	Características físicas	Totales (SDT)		Equipo de
				mg/L	laboratorio
				°C	
			Caudal		

Características químicas	Conductividad	μS/cm
	Potencial de	Unidades
	Hidrógeno (pH)	de pH
	Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L
	(OD)	
	Demanda	mg/L
	Bioquímica de	
	Oxígeno (DBO ₅)	
	Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L
	Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L
	Demanda Química	mg/L
	de Oxígeno (DQO)	
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L
	Aluminio (Al)	mg/L
	Manganeso (Mn)	mg/L

Independiente: Cambio climático	“Alteración del clima originada por factores naturales y humanos” (Cordero, 2012).	Parámetros biológicos	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	Satélite (MERRA 2), 1981-2025 (N=45) Google Colab
			Coliformes Totales	NMP/100 mL	
		Temperatura		°C	
			Suma diaria	mm	
		Precipitación	(1981-2025)		

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Referencial y Georreferencial

La parroquia Simiátug está ubicada en el extremo norte de la provincia de Bolívar, geográficamente, con límite para el norte con la provincia de Cotopaxi, al sur con la parroquia Salinas y con el este y al oeste Facundo Vela, esta parroquia es relevante en términos de cuencas hidrográficas, pues varios cuerpos de agua nacen en estas áreas y desembocan en diferentes sistemas hídricos regionales (GADPR Simiátug, 2024).

Tabla 1. Datos básicos de Simiátug (Parroquia)

Superficie	312.96 km² y 410 km²
Latitud	N 9853521,7
Longitud	E 724686
Rango Altitudinal:	1323.89 - 4454.19 msnm
Clima:	Serranía-Cordillera-Valle
Temperatura	De 4 a 19 grados °C
Población	Según el INEC Censo 2022 es de 9412 habitantes
Composición poblacional	4485 (47.65%) hombres
	4927 (52.35%) mujeres
Comunidades	39 comunidades y 08 barrios

Nota: Fuente PDOT Simiátug 2023 -2027

“La parroquia de Simiátug tiene 39 comunidades y la cabecera parroquial están agrupadas en 6 zonas. Haciendo referencia a la comunidad de estudio Cruz de Ventanas pertenece a la zona 2 con los siguientes datos” (GADPR Simiátug, 2024).

Tabla 2. Datos básicos de Cruz de Ventanas (Comunidad)

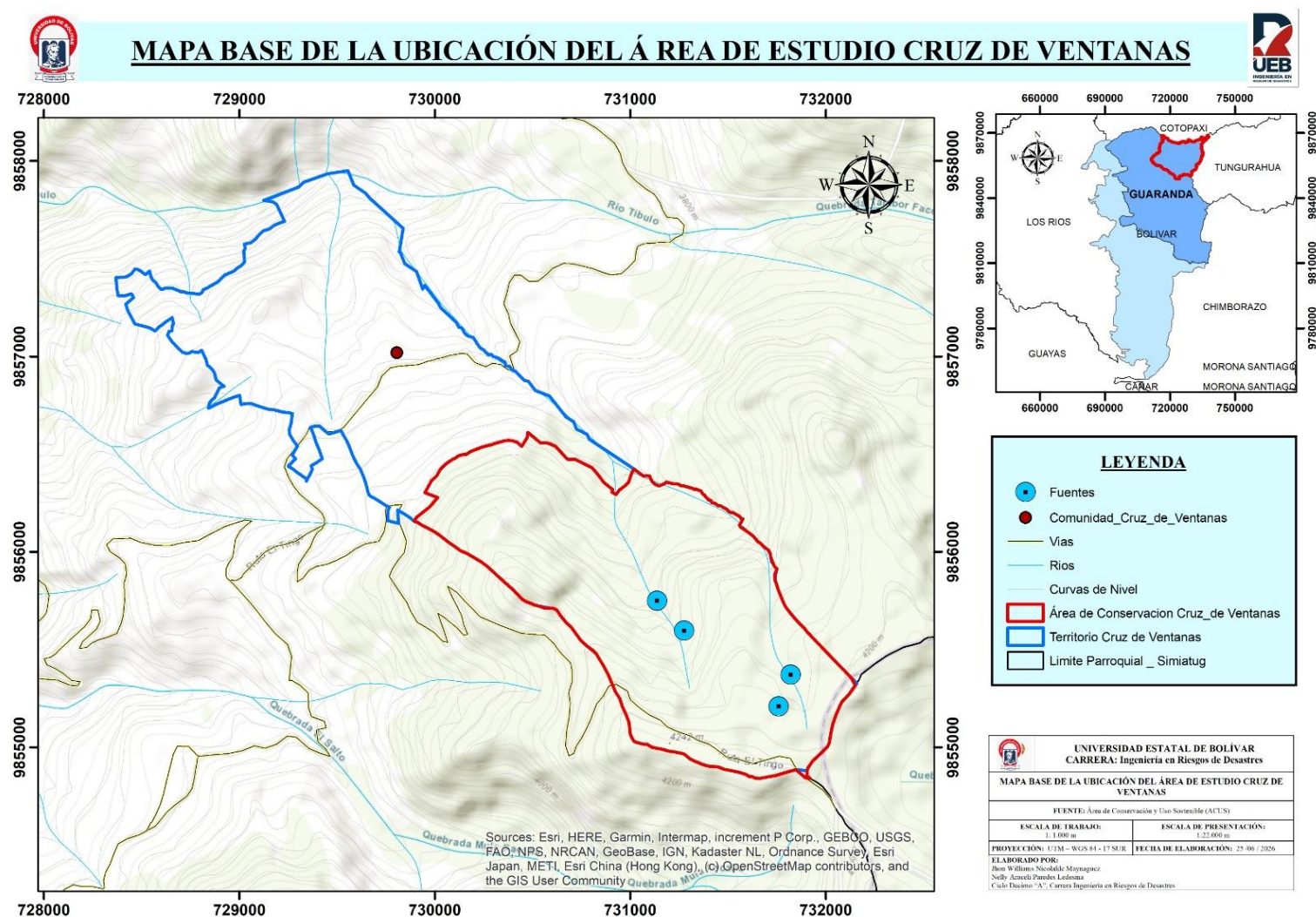
Latitud	985 8300 m N
Longitud	723 900 m E
Rango Altitudinal:	~ 4 000 metros sobre el nivel del mar (la zona de páramo de Cruz de Ventanas está a unos 4 000 msnm)
Clima:	Clima de páramo frío, con temperaturas bajas frecuentes, viento gélido.
Temperatura:	Promedio alrededor de 7 a 8 °C

Nota: Fuente GADPR Simiátug 2023 -2027

Para el uso y aprovechamiento del agua, en la parroquia Simiátug la organización tiene 41 juntas de agua entre estas 31,71% pertenecen a riego y el 68,29% son de agua potable, existen 449 vertientes, de las cuales 186 son adjudicadas para el consumo humano, mientras que 99 vertientes están adjudicadas para el riego. Las familias beneficiarias directas de estas vertientes son 2.344, en cuanto a protección de vertientes se necesita la protección en su totalidad. Los pobladores de las comunidades aledañas han destinado 475 Ha para la siembra de plantas nativas de la zona para la protección de vertientes (GADPR Simiátug, 2021).

Según el (GADPR Simiátug, 2021) acorde al Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2021 – 2023 de Simiátug se desarrolló un Plan de inversión plurianual por objetivo y componente existió en la cabecera parroquial un programa de Mejoramiento de la calidad de agua de consumo humano, con un presupuesto de 2,000,000.00 de dólares. Según la tabla número 6 del PDOT de Simiátug, nos hace referencia que la calidad de agua en Cruz de Ventanas es normal mientras que la cantidad es escasa.

Figura 1. Mapa base de la ubicación del área de estudio Cruz de Ventanas y fuentes de agua



Nota: Fuente, Área de Conservación y Uso Sostenible ACUS

2.2. Antecedentes

Impacto humano en la hidrología de los páramos andinos

El trabajo de Buytaert y colaboradores (2006) ofrece una evaluación crítica de las características físicas únicas de los suelos de los páramos en los Andes (Andisoles e Histosoles), los cuales se distinguen por su baja densidad y gran porosidad, estas propiedades les confieren una notable habilidad para regular el agua, con función de "esponjas" naturales en zonas montañosas. Los autores cuantifican cómo las acciones humanas como la plantación de pinos (*Pinus radiata*), actividades agrícolas y el pastoreo excesivo destruyen de manera irreversible la microestructura de estos suelos, lo que lleva a una disminución considerable del flujo hídrico durante las temporadas secas y a un aumento en los picos de caudal durante la lluvia. Además de explorar los efectos de la compactación y los cambios en el balance hídrico local ligados a la evaporación y el uso de la tierra, la investigación ofrece las primeras advertencias sobre la fragilidad de estos ecosistemas de captación ante los impactos combinados del cambio climático y la degradación del entorno (Buytaert, et al., 2006).

Este conjunto de literatura científica fue elegido un elemento central para esta investigación debido a su relevancia en términos geográficos y metodológicos con los entornos de alta montaña del Austro ecuatoriano, y mención al marco teórico adecuado para examinar el comportamiento del agua en el área de producción hídrica de Cruz de Ventanas. La información del artículo ofrece una base concreta para justificar los planes de ordenamiento territorial, con la evidencia que la conservación total del suelo y la identificación de áreas de protección alrededor de las captaciones son enfoques de mitigación de riesgos. Además, al relacionar la estabilidad física de las cuencas superiores con el suministro de agua y la resiliencia ambiental en áreas río abajo, los criterios técnicos esenciales para apoyar el análisis de la disponibilidad de los recursos y la gestión de riesgos en el diseño de infraestructuras territoriales.

Determinación del caudal y calidad de agua mediante bioindicadores en los páramos de la Comunidad el Calvario en el Cantón Tisaleo

El estudio científico menciona una evaluación completa de la calidad y accesibilidad del agua en una microcuenca situada en la provincia de Tungurahua, en consideración con el efecto de las acciones humanas sobre los ecosistemas de ríos. Para el aspecto hidráulico, la investigación analiza cómo es el comportamiento de los caudales y cuál es la capacidad de los suelos de páramo que son áreas elevadas para regular naturalmente el agua. Con relación a calidad, se revela un grave deterioro del recurso hídrico comparado con las normas nacionales, y por esta razón existe preocupación por la contaminación con metales pesados, sustancias orgánicas y una elevada carga microbiológica generada por la agricultura, la ganadería y actividades recreativas sin regulación. Por último, el texto complementa el análisis químico convencional con el empleo índices de bioindicación que utilizan macroinvertebrados acuáticos, con la facilidad de evaluación del estado real de salud ecológica y el grado de degradación prolongada que enfrentan las comunidades biológicas en la cuenca (Peña Murillo, Peralta Peralta, León Ruiz, & Guzmán Guaraca, 2023).

Este segundo artículo fue elegido debido a que comparte el mismo entorno regional y ofrece un método que aporta dentro de la Ingeniería de Riesgos y Ordenamiento Territorial. La provincia de Tungurahua presenta un contexto real con este estudio y comparable que permite examinar la forma en que las cuencas de la región reaccionan ante presiones ambientales similares. Profundiza más allá de la simple medición fisicoquímica, con la incorporación de la bioindicación ecológica como una herramienta técnica útil para la planificación. Además, brinda fundamentos científicos sólidos para evidenciar que la contaminación del agua no es solo un problema de laboratorio, sino un riesgo sistémico que afecta los hábitats naturales, de este modo nace la necesidad de formular políticas de uso del suelo restrictivas y áreas de protección de los recursos hídricos.

Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en una zona de páramo húmedo al sur del Ecuador

La presente información de la variabilidad tanto espacial como temporal del estado del agua en la región de Quimsacocha (Azuay), analiza de qué manera las variaciones climáticas y de carácter hidrometeorológico influyen en la composición química del agua dentro de los ecosistemas de páramo del sur de Ecuador. Mediante la utilización de un conjunto de datos que abarca 15 años (2003-2018), los autores investigan los diversos parámetros fisicoquímicos, iones y metales pesados bajo diferentes condiciones de flujo (alto, medio y bajo) mediante métodos estadísticos multivariados como el Análisis de Componentes Principales (ACP) y análisis de flujos de no excedencia. Uno de los hallazgos más relevantes es que durante los períodos de intensas lluvias se provoca un efecto de dilución en algunos minerales, aunque simultáneamente aumenta la carga orgánica debido al escurrimiento superficial por que la concentración de ciertos metales pesados está vinculada a la geología natural del terreno y no a actividades humanas (Guamán Chalco, 2019).

Este documento ha sido elegido debido a su fuerte relación geográfica, ambiental y temporal con este estudio, al mantener un precedente riguroso de alta validez científica en la zona interandina de Ecuador. Al proporcionar evidencia de forma estadística como los parámetros de calidad de agua están claramente influidos por factores climáticos como la temperatura del aire y las precipitaciones, se sustentó un soporte teórico e hidroclimático. En particular, ayuda a validar y sustentar la relevancia del análisis de largos períodos históricos para comprender cómo variables a gran escala, como incrementos progresivos de la temperatura promedio, impactan directamente al Índice de Calidad del Agua (ICA).

Ecología, hidrología y suelos de páramos

El informe de la FLACSO analiza de forma completa la hidrología, la física de los suelos y el clima de los páramos en los Andes, menciona su función esencial como los principales reguladores de agua en la región. Mediante estudios experimentales en cuencas pequeñas con la colaboración técnica de expertos de la Universidad de Cuenca, el cuantifica cómo las características hidráulicas del suelo (incluyendo la porosidad y la baja densidad aparente de los Andosoles) influyen en las rutas de escorrentía y mantienen los caudales mínimos. De igual manera, el fuerte efecto que generan las acciones humanas, tales como, la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo y el cultivo de especies no nativas, como puede ser la degradación del suelo interfiere gravemente en el equilibrio hidrológico y disminuye la capacidad de retención de agua ante situaciones de variabilidad y cambios climáticos (Llambì, et al., 2012).

La incorporación de este artículo en el estudio es importante, ya que ofrece el contexto teórico y la base de datos empíricos necesarios para respaldar el análisis de la hidrología y la vulnerabilidad territorial en zonas andinas. Al examinar el caudal, la calidad del agua y la planificación de infraestructuras influenciadas por dinámicas biofísicas complejas, contar con un referente científico a nivel regional permite respaldar técnicamente los balances hídricos y los modelos de escorrentía utilizados. Al ofrecer indicadores claros sobre cómo las modificaciones en el uso del suelo incrementan los flujos máximos durante las inundaciones y disminuyen los caudales en épocas secas, se convierte en un recurso fundamental para justificar el diseño de estructuras hidráulicas de mitigación y la creación de directrices para la gestión del uso del suelo orientadas a reducir el riesgo de desastre.

Hidrología de los ecosistemas andinos tropicales: Importancia, estado del conocimiento y perspectivas

El artículo trata sobre la importancia ecológica de los sistemas de recursos hídricos en las regiones del páramo andino y bosques de montaña, eligiendo el territorio del Ecuador como principal entorno de estudio. Detalla los mecanismos físicos que rigen los procesos de precipitación y escorrentía, con énfasis del papel fundamental de los suelos Andisol y su alta capacidad de retención de agua debido a su alto contenido en materia orgánica. La comprensión hidrológica de estos frágiles ecosistemas se mantiene parcial y aislada, definida por una preocupante falta de series de datos consistentes a largo plazo y una falta de modelos matemáticos que permitan extrapolar los resultados desde microescalas a cuencas más grandes (Célleri & Feyen, 2009).

Este artículo es importante porque proporciona un marco cuantitativo y conceptual esencial para justificar la protección del altiplano andino como eje rector para la seguridad hídrica y la planificación espacial en el contexto ecuatoriano. Fundamentado en la observación de cuencas locales, la importancia del lugar y la solidez científica para analizar de qué manera las alteraciones provocadas por la actividad humana impactan de forma directa servicios esenciales como la provisión de agua potable y la capacidad hidroeléctrica en la región. El análisis proporciona el soporte técnico indispensable para formular estrategias de reducción de impactos y políticas de conservación que se basen en la situación real de nuestros ecosistemas, facilitando la conexión entre la planificación del uso del suelo y la resiliencia hídrica frente a los retos del cambio climático.

2.3. Marco Científico

2.3.1. Definición y Caracterización del Páramo en el Ecuador

Los páramos forman parte de la biodiversidad que tiene el Ecuador y aproximadamente cubren un área de 1,52 millones de hectáreas, todas las cuencas grandes del país nacen en el páramo. Por la presencia de la cordillera de los Andes, constituyen ecosistemas de alta montaña y están ubicados generalmente a los 3000 msnm dando a conocer que están por encima de los bosques andinos. Se caracterizan por tener un ambiente húmedo y frío en todo el año, en su mayor parte con la presencia de neblina y su temperatura varía desde los 4 hasta los 19 grados °C. Existe varias especies de flora como almohadillas, arbustos entre otras especies nativas de igual manera su fauna presenta mamíferos, anfibios y aves locales (conejos, venados, oso de anteojos, cóndor andino, etc.) que se adaptan a la variabilidad climática de estos lugares (Mena, Hofstede, & Suárez, 2023).

Por muchas razones el clima, la diversidad de plantas y de animales, el páramo es un ecosistema muy particular. Pero una de las características más relevantes para su provisión de agua y su función como un paliativo al cambio climático es el suelo. El suelo de los páramos es de origen volcánico, clima frío, húmedo y cuenta con una baja presión atmosférica (Mena, Hofstede, & Suárez, 2023).

2.3.2. Efectos del Cambio Climático en el Páramo

Las repercusiones del calentamiento global intensifican el impacto inmediato de las prácticas inadecuadas en el uso del territorio y en la planificación económica. En áreas donde la transformación de los ecosistemas es elevada, el agotamiento de la fertilidad de los suelos y la falta de agua, estos impactos pueden ser aún más severos en contextos de cambio climático. Las consecuencias del cambio climático añaden una nueva dimensión a las crisis sociales y económicas que tienen relación con el entorno. Las lluvias impredecibles, las heladas repentinas, la desaparición de glaciares y los cambios en la fauna y la flora afectan

profundamente las creencias culturales, que son esenciales para la identidad y el sentido de pertenencia de las comunidades rurales y urbanas de los Andes. Las consecuencias del cambio climático en los páramos no solo inciden directamente en los ecosistemas de gran altitud, sino que también generan efectos indirectos en las áreas a menor altitud. Dada su localización geográfica, los ecosistemas andinos, que incluyen los páramos del Norte de los Andes, sirven como fuentes de agua del continente, y las alteraciones en estos ecosistemas y en sus patrones hídricos influyen en la hidrología a niveles regional y continental (Mena, Hofstede, & Suárez, 2023).

2.3.3. *Cantidad y Calidad del Agua en los Páramos*

Cantidad: “Se refiere al volumen de agua disponible, que puede afectar la concentración de contaminantes transportados por las aguas afluentes a lagos o embalses” (Novotny, 2005).

Calidad: “Durante condiciones de clima seco, estos autores reportaron diferencias significativas en la concentración de especies inorgánicas y orgánicas de carbono, nitrógeno y fósforo entre el agua de los arroyos y los humedales” (Reddy, 2008).

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua:

Físico – químico-microbiológicas	
Características físicas: “Propiedades perceptibles como el color, olor, sabor y por otra parte medibles como la densidad, puntos de fusión/ebullición, tensión superficial que delimitan su comportamiento y la hacen esencial para la vida” (World Health Organization, 2022).	
Parámetro	Unidad
C. eléctrica	uS/cm

Color	Pt-Co
Ph	Unidades
Turbiedad	NTU

Características químicas: “Debe a su inclusión de

su polaridad para cargas positivas/negativas, por otra parte, la capacidad de formar puentes de hidrógeno, pH neutro, ser el "solvente universal" y reaccionar con óxidos y metales”
(American Public Health Association, 2023)

Parámetro	Unidad
Sólidos disueltos totales	mg / l
DQO	mg / l
DBO5	mg / l
Fosfato	mg / l
Nitratos	mg / l

Características microbiológicas: “Indica la presencia y cantidad

de microorganismos como bacterias, virus y parásitos que determinan su calidad sanitaria” (World Health Organization, 2022).

Parámetro	Unidad
Coliformes totales	UFC / 100 ml
Coliformes fecales	nmp / 100 ml

2.4. Marco Legal

1. Constitución de la República del Ecuador (2008): Reconoce el derecho al acceso al agua potable y saneamiento como un derecho humano fundamental, y establece el deber de administrar de una forma sostenible y equitativa los recursos naturales, el agua un elemento vital para la vida y el desarrollo como se muestran en los siguientes artículos:

Art. 71.- “Indica que la administración estimulará tanto a individuos como a entidades, así como a grupos, para que cuiden del medio ambiente, además de fomentar la consideración hacia todos los componentes que integran un ecosistema.” (Constitución RE, 2008).

Art. 73.- Aborda las acciones que implementará la administración para prevenir y limitar actividades que puedan provocar la desaparición de especies, la devastación de ecosistemas o el cambio irreversible de los ciclos naturales. Se prohibirá la incorporación de organismos y materiales tanto orgánicos como inorgánicos que puedan modificar de manera irreversible el patrimonio genético del país (Constitución RE, 2008).

Art. 261.- El Estado central se enfoca en competencias exclusivas de:

- 7. las áreas protegidas y los recursos naturales.
 - 8. La prevención de desastres de origen natural.
 - 11. Recursos energéticos; hídricos, hidrocarburos, biodiversidades forestales minerales
- (Constitución RE, 2008).

Art. 406.- El gobierno regulará la protección, gestión y uso sostenible, restauración y limitaciones de propiedad sobre los ecosistemas frágiles y amenazados; incluidos, entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, selvas tropicales secas y húmedas, manglares, así como los ecosistemas marinos y costeros (Constitución RE, 2008).

Art. 389.- El gobierno salvaguardará a las personas, las comunidades y el entorno natural contra los efectos adversos de las catástrofes, ya sean de origen natural o provocadas por el ser humano, mediante acciones de prevención de riesgos, optimización de la respuesta a

desastres, y la recuperación y mejora de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el fin de reducir la vulnerabilidad (Constitución RE, 2008).

Art. 390.- Los riesgos se administrarán el principio de descentralización subsidiaria, lo que significará que las instituciones asumirán la responsabilidad directa dentro de su área geográfica. Si sus capacidades para gestionar el riesgo son inadecuadas, las entidades con mayor alcance territorial y recursos técnicos y financieros ofrecerán el apoyo necesario, manteniendo su autoridad en el área sin eximir las de su responsabilidad (Constitución RE, 2008).

2. Ley de Gestión Integral de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

(2014): Define los principios para la administración eficaz y sostenible del agua, establecer competencias para instituciones como la Secretaría Técnica del Agua (SENAGUA) para la planificación, gestión y control del recurso hídrico en el país como se menciona en los siguientes artículos:

Art. 12.- Los compradores y usuarios tienen un papel compartido en la salvaguarda, restauración y cuidado de las fuentes hídricas, así como en la gestión de los páramos. También deben participar en el uso y administración de los recursos acuáticos ubicados en sus terrenos, sin menoscabo de las responsabilidades generales de la Autoridad Única del Agua, según lo estipulado en la Constitución y en esta normativa. El gobierno, en sus diversas instancias, asignará los recursos financieros y la ayuda técnica necesaria para asegurar la preservación y protección de las fuentes hídricas y sus zonas de impacto (Hídricos, 2014).

Art. 36.- “Deberes estatales en la gestión integrada, en el ámbito de sus competencias el Estado y sus instituciones son los responsables de la gestión integrada para los recursos hídricos por cuenca hidrográfica” (Hídricos, 2014).

En consecuencia, son los obligados:

- a) Garantizar y promover el derecho humano al agua
- b) Administrar los usos, las actividades para su conservación y el aprovechamiento del recurso hídrico en cantidad y calidad mediante un enfoque sostenible basado en criterios y en regulaciones técnicas.
- c) Gestionar y preservar de manera sostenible los ecosistemas en las altas montañas, especialmente los páramos, humedales y todos los ecosistemas que retienen agua.
- d) Reforzar y alentar la participación en la gestión del agua de las organizaciones de usuarios y consumidores de los sistemas públicos también comunitarios de agua, a través de los consejos de cuenca y del Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua.
- e) fomentar y rescatar los conocimientos ancestrales, así como la investigación y el entretenimiento científico con el ciclo del agua.

4. COA Código orgánico del Ambiente: es la normativa ambiental más importante de Ecuador, está diseñada para garantizar el derecho a un ambiente sano, proteger la naturaleza, regular la gestión ambiental, controlar impactos, y establecer los principios y mecanismos para el uso sostenible de los recursos naturales.

Art. 30. Objetivos del Estado relativos a la biodiversidad son:

7. “Tener un enfoque integral y sistémico con aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos, con la coordinación de la Autoridad Única del Agua” (COA, 2017).

Art. 101. “La elaboración de los planes e instrumentos de manejo y conservación del ecosistema páramo se realizarán de la siguiente manera”:

3. “La participación de actores sociales públicos y privados, así como con las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades ubicadas en su entorno. Esto fortalece a la organización y asociatividad de las comunidades” (COA, 2017).

3. Ley Orgánica para la Gestión Integral de Riesgos de Desastres: se enfoca en la planificación, organización y articulación de políticas para la previsión, prevención, mitigación y respuesta frente a riesgos, como pueden ser amenazas hídricas como sequías, inundaciones y deslizamientos causados o agravados por el cambio climático. Además, la ley establece que la gestión integral del riesgo debe integrar la protección del patrimonio natural, que incluye ecosistemas frágiles y fuentes de agua (como páramos), considerando su vulnerabilidad ante eventos extremos derivados del cambio climático con los siguientes artículos:

Art. 23. Dentro de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos se encuentra la rectoría de la política y del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres como su competencia, así como la de entidades técnicas de derecho público, con rango de ministerio, adscrita a la Función Ejecutiva.

22. En la política de gestión integral del riesgo se debe garantizar que en los desastres se cumpla con la normativa nacional para la protección del patrimonio natural, que incluye, las formaciones físicas, biológicas y geológicas, el sistema nacional de áreas protegidas; ecosistemas frágiles y amenazados como humedales, páramos, bosques nublados, bosques tropicales secos/ húmedos y manglares.

4. Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica (MATTE): Incluye la protección, conservación y restauración de ecosistemas estratégicos, explicitando la necesidad de medidas restrictivas para actividades que puedan afectar la calidad y cantidad del recurso hídrico, específicamente en zonas sensibles como el páramo fundamentado.

2.5. Marco Conceptual

Calidad de agua: “Se refiere a las características físicas, químicas y biológicas que determinan su aptitud para consumo o riego, adicional se incluye parámetros como pH, turbidez, coliformes totales/fecales y metales pesados” (Lapo C, 2025).

Cambio climático: “Es la variación natural y duradera en patrones meteorológicos y climáticos, como temperatura y precipitación, asociada tanto a causas naturales como a actividades humanas, que impacta disponibilidad hídrica y de ecosistemas” (Cordero, 2012).

Cantidad de agua: “Volumen de agua disponible en un territorio determinado para abastecer necesidades humanas, agrícolas y ambientales, afectada por factores como precipitación, evaporación y uso humano” (Lapo C, 2025).

Escenarios de cambio climático: “Son proyecciones basadas en modelos climáticos que describen posibles condiciones futuras de temperatura, precipitación y otros factores climáticos con impactos sobre recursos hídricos” (UNFCCC, 2007).

Páramo: Los páramos constituyen ecosistemas de notable significancia, no solo por su gran valor ecológico, sino también por su aportación a la consolidación de actividades económicas y sociales. Su importancia principal proviene de la función que desempeña como regulador del agua en las cuencas que alimentan los acueductos que proporcionan agua para el consumo humano, el riego de cultivos y otros usos; los páramos no son, en sentido estricto, generadores de agua; su papel, siempre y cuando se mantengan en buen estado, es el de retener, regular el caudal y garantizar la calidad del agua que fluye lentamente desde ellos (UICN, 2003).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo correlacional, analítica descriptiva; se caracteriza como debido a que busca analizar la influencia de los cambios con precipitación y temperatura que han causado variabilidad climática en relación con la cantidad y calidad del agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas. Es correlacional debido a que se establece una relación entre la variación climática y las características hidrológicas del área de estudio, para identificar las recurrencias o los patrones históricos de precipitación y temperatura con sus respectivas variaciones observadas en el volumen, caudal y calidad del recurso hídrico. Con esta relación se identifican los factores que pueden cambiar el comportamiento de las fuentes de agua, para generar información de medidas para la conservación y gestión sostenible del recurso hídrico.

3.2. Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque se fundamenta con la recopilación, medición y análisis numérico que están relacionados con la cantidad y calidad del agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas. Con este tipo de enfoque se obtuvo información objetiva mediante la medición de caudales, volúmenes de agua, análisis parámetros fisicoquímicos/microbiológicos y el procesamiento de registros históricos de precipitación y temperatura.

En el análisis de la información se utilizaron hojas de cálculo, procedimientos estadísticos para el procesamiento de datos que permitieron identificar tendencias, variaciones y anomalías climáticas. Con los resultados obtenidos se diseñaron tablas, gráficos, modelos climáticos y diagramas ombrotérmicos que facilitaron la interpretación hídrica y climática del área de estudio.

Se puede mencionar que con el enfoque cuantitativo se logró generar resultados medibles y verificables, a su vez proporcionando una base para evaluar las condiciones actuales del recurso hídrico y formular propuestas orientadas a su conservación.

3.3. Métodos de Investigación

En este estudio el método aplicado es hipotético-deductivo, el mismo que permitió empezar a partir de una premisa relacionada con la influencia de la variación climática sobre la cantidad y calidad del agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas. Para comprobar la hipótesis se recolectaron y analizaron series de información hidrológica, climática y fisicoquímica para conocer el comportamiento del recurso hídrico frente a los cambios en la precipitación y temperatura.

Este método permitió observar, medir y analizar variables cuantificables como el volumen de agua, caudal, parámetros de calidad del agua, precipitación y temperatura, con el propósito de identificar patrones, tendencias y posibles escenarios futuros acorde a los valores presentados. Con la interpretación de los registros climáticos históricos se pudo generar de modelos climáticos que permitieron comprender cómo las condiciones climáticas pueden influir en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

Con el uso del método hipotético-deductivo se contribuyó a contrastar la información obtenida en campo y laboratorio con los registros históricos analizados, para establecer conclusiones fundamentadas y desarrollar propuestas orientadas a la conservación de las fuentes de agua del páramo Cruz de Ventanas.

3.4. Diseño de la investigación

La investigación presenta un diseño no experimental debido a que las variables estudiadas no fueron manipuladas deliberadamente, limitándose solo a la parte de observación, recopilación y análisis de información hidrológica, climática y de calidad del agua alcanzada mediante las salidas de campo, análisis de laboratorio y registros históricos.

Con este análisis se identificó información de patrones de comportamiento climático a lo largo de 45 años de registros; la comprensión de la dinámica hídrica del ecosistema de páramo y la generación de escenarios para la conservación del recurso hídrico frente a posibles cambios futuros, corresponde a un diseño longitudinal debido al análisis de datos climáticos históricos correspondientes al período 1981–2025 de precipitación y temperatura, para la comparación de variables, tendencias, anomalías, períodos secos, normales, lluviosos, de igual manera, la posible influencia sobre la cantidad y calidad del agua en la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Objetivo 1

Para la recolección de información se emplearon técnicas de observación directa por medio de salidas de campo en las diferentes fuentes hídricas, con un levantamiento de fotografías con las respectivas coordenadas de las fuentes de agua y análisis en laboratorio.

El instrumento utilizado para la medición de los caudales fue un flexómetro para medir la cantidad del agua acorde al ancho, largo y profundidad de las fuentes hídricas.

Las muestras de agua fueron destinadas a realizar un análisis de laboratorio con parámetros mencionados que determinan la calidad del recurso hídrico. Por medio de estas técnicas se pudo obtener información específica y esencial para poder interpretar las condiciones actuales que tiene el agua.

Instrumentos de recolección de datos:

Cantidad de agua

Recipiente de 1L

Flexómetro

Libreta y esfero

Aplicación móvil Avenza Maps (Coordenadas y fotografías)

Calidad de agua

Jarra plástica

Recipientes o botellas plásticas

Objetivo 2

Se desarrolló mediante técnicas de recopilación de información y análisis climatológico de los datos históricos obtenidos a través de la plataforma Satélite MERRA 2 como precipitación y temperatura correspondientes al período 1981–2025, una vez obtenida la información se pudo organizar y procesar. Con cada uno de estos datos anuales se elaboraron diagramas ombrotérmicos para poder identificar períodos normales, secos, lluviosos y anómalos se han producido dentro del comportamiento climático del páramo, para reconocer patrones de secuencia y variación en el área de estudio.

Con Google Colab y los datos históricos recopilados, se corrigió algunos códigos para el desarrollo y análisis de distintos escenarios de variación climática; para realizar proyecciones de los años 2026, 2027 y 2028, con períodos normales y lo que podría suceder en caso de la presencia del Super Niño (fenómeno atmosférico).

En WorldClim con su base de datos globales de alta resolución espacial se recopiló información del BIO12 de precipitación anual para conocer información historia desde el año 1970 al 2000, y datos futuros del 2021 al 2040 de EC-Tierra3-Vegeta-ssp370.

Instrumentos de recolección de datos:

Base de datos climático Satélite MERRA 2

Microsoft Excel

Google Colab

WorldClim

Objetivo 3

Se trabajó con una técnica de observación directa por los acontecimientos reales observados en campo y por otra parte los resultados de los objetivos anteriores que influyen para una propuesta de conservación del agua ya que existe una variación tanto en el aumento y disminución de este recurso en las distintas temporadas, por otra parte, la calidad de agua podría ser afectada por varios aspectos de contaminación hacia las fuentes hídricas y alteraciones climáticas. Se incorporó criterios de medidas de conservación, control ambiental y posibles ordenanzas para sancionar actividades que ocasionen daños y mantener una gestión sostenible del recurso hídrico al ecosistema de páramo.

Instrumentos de recolección de datos:

Registro fotográfico

Observación de campo

Información climática recopilada

Resultados de laboratorio

Documentos normativos y ambientales

3.6. Universo, Población y Muestra

La unidad de análisis no requiere la aplicación de un universo ni de una muestra, con enfoque a un área de producción hídrica conformando la cantidad y calidad del agua en el páramo con 204 Hectáreas del Área de Conservación y Uso Sostenible (ACUS), de la parroquia Simiátug, cantón Guaranda, provincia Bolívar. El análisis se realiza particularmente dentro del área de conservación y directamente en sus puntos de control establecidos, en consideración a las fuentes o vertientes de agua presentes en la zona.

3.7. Técnicas de análisis y procesamiento de la información

3.7.1. Objetivo 1

- Cuantificar la cantidad y calidad de agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.

Con las visitas de campo se identificaron cuatro fuentes específicas de recolección de información de la calidad, cantidad para el área de conservación hídrica, mediante datos mensuales recolectados de volumen y área con diseños en el programa SketchUp, y el método volumétrico de la fuente de agua con caudal.

3.7.1.1. Medición de caudal

“La medición del caudal con el método volumétrico, determina el caudal basándose en la variación de masa del líquido en un período de tiempo determinado es decir con la utilización de un cronometro para medir el tiempo de recolección de líquido” (ISOIL Industria Spa, 2025).

1. Fórmula matemática y física fundamental de la hidrodinámica – medición de caudal

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

(QUORA, 2020)

Q= es el caudal (en litros por segundo, L/s, o en litros por minuto, L/min).

V= es el volumen de agua recolectado (en litros).

t= es el tiempo de recolección (en segundos o minutos).

3.7.1.2. Índice de Calidad de Agua

Con las muestras recolectadas se analizaron los parámetros establecidos por el ICA-NSF “Índice de Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation” 1970 de Estados Unidos que son la combinación de parámetros físicos/químico y biológicos de las fuentes que encuentran presentes en el páramo de Simiátug.

Tabla 4. *Parámetros a analizarse ICA-NSF*

Ítem	Parámetro	Unidades
1	Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades de pH
2	Turbidez	NTU
3	Oxígeno Disuelto (OD)	mg O2/L
4	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5)	mg/L
5	Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L
6	Nitratos	mg/L
7	Fosfatos	mg/L
8	Coliformes Fecales	NMP/100 ml
9	Temperatura	°C

Nota: Parámetros ICA-NSF

Tabla 5. *Parámetros adicionales*

Ítem	Parámetro	Unidades
10	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L
11	Coliformes Totales	NMP/100 ml
12	Nitritos	mg/L
13	Caudal	m3/s
14	Conductividad	us/cm
15	Plomo	mg/L
16	Cadmio	mg/L
17	Aluminio	mg/L
18	Manganeso	mg/L
19	Zinc	mg/L
20	Arsénico	mg/L

Nota: Parámetros ICA-NSF

En esta metodología la calificación presenta una ponderación de 0 – 100 el valor más bajo es considerado malo y el valor alto es excelente:

Tabla 6. Criterios de calidad del ICA-NSF para agua de consumo

Rango	Clasificación	Criterio
0 – 40	Muy Mala	Inaceptable para consumo
41 – 50	Mala	Dudosa para consumo
51 – 70	Media	Potabilización necesaria
71 – 80	Buena	Dudoso su consumo sin purificación
81 – 90	Muy Buena	Purificación menor requerida
91 – 100	Excelente	No requiere purificación para consumo

Nota: Criterios de calidad ICA-NSF

Los valores obtenidos deben ser comparados con los valores de la normativa que establece los límites permisibles con los criterios de calidad fuentes de agua para consumo humano.

2. Fórmula del Índice de Calidad del Agua

$$ICA = \sum_{i=1}^n SI_i W_i \quad (2)$$

(Sadoth Bravo Rodriguez, 2022)

En donde W_i es el factor de ponderación para el subíndice i , n es el número de parámetros que se utilizan (en este caso 9 por el ICA-NSF) y SI_i es el subíndice de calidad del parámetro i . Para la determinación de los subíndices de cada parámetro se trabajó con curvas funcionales determinadas por la NSF, que son curvas preestablecidas por los investigadores, donde se tiene una curva para cada contaminante.

Tabla 7. Valores del factor de ponderación

PESOS RELATIVOS	
PARAMETRO	PESO (Wi)
Oxígeno disuelto	0,17
coliformes fecales	0,16
pH	0,11
DBO5	0,11
Fosfatos	0,10
Nitratos	0,10
Temperatura	0,10
SDT	0,07
Turbidez	0,08

Nota: Peso relativo ICA-NSF

Potencial de hidrógeno (pH): Se empleo un medidor de un pH, un aparato con un sensor de vidrio que evalúa la cantidad de iones hidrógeno en el líquido. El sensor se introduce en la muestra y genera un resultado en unidades de pH.

Turbidez (NTU): Se realizó a través del equipo turbidímetro, el mismo que proyecta luz a través de una muestra de agua y mide la cantidad de luz dispersa por las partículas en suspensión. El resultado se da en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

Oxígeno Disuelto (OD) (mg O₂/L): Con un medidor de oxígeno disuelto o a través de un sensor, se basó en una célula galvánica que genera una corriente eléctrica cuando el oxígeno se reduce en el cátodo, sin necesidad de un suministro externo de energía.

Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5) (mg/L): Se incubaron una muestra de agua durante 5 días a 20°C en condiciones de oscuridad. Luego, se mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos para descomponer la materia orgánica.

Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L): Los sólidos disueltos totales se midieron con el equipo conductímetro que se basa en la relación entre la conductividad eléctrica del agua y la cantidad de sólidos disueltos en ella. Los sólidos disueltos son principalmente sales minerales, compuestos orgánicos e inorgánicos que, al disolverse en agua, liberan iones cargados que permiten que la electricidad se conduzca a través del agua. Antes de realizar cualquier medición, es importante calibrar el conductímetro y una solución de conductividad estándar ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Nitratos (NO_3) (mg/L): Los Nitratos se midieron mediante espectrofotometría, donde los nitratos reaccionan con una solución que produce un color que puede ser medido y nos indica la contaminación por fertilizantes o desechos animales.

Fosfatos (PO_4) (mg/L): Los fosfatos se cuantificaron utilizando espectrofotometría, para evaluar la cantidad de iones fosfato (PO_4^{3-}), los cuales son elementos clave para analizar la calidad del agua, particularmente en investigaciones sobre eutrofización y en el manejo de la contaminación de cuerpos acuáticos.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$): La medición de la temperatura de las fuentes fueron en el sitio.

Coliformes Fecales (NMP/100 ml): Se empleó la técnica del Número Más Probable (NMP). Se recogieron muestras y se mantuvieron en incubación para detectar la existencia de bacterias coliformes que señalan la contaminación fecal, lo cual puede generar un impacto en la salud.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Un enfoque ágil y accesible que facilita la evaluación de la proporción de materia orgánica dentro de una muestra de agua. La muestra de agua se trata con un potente oxidante, comúnmente dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), en un ambiente ácido, transformando el ion dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ en ion cromo Cr^{3+} . Se cuantifica el oxígeno equivalente al dicromato que ha sido reducido, el cual se expresa como DQO.

Nitritos: Se realizó mediante espectrofotometría, los nitritos (NO_2^-) son compuestos nitrogenados que pueden ser indicadores de contaminación orgánica y están asociados con la actividad microbiana, especialmente en ambientes acuáticos.

3.7.1.3. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

Para la evaluación de calidad se trabajó con la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA LIBRO VI ANEXO 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y de Descarga De Efluentes Al Recurso Agua con la Norma De Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua con su última reforma en el año 2015 por el ministerio del Ambiente (Eurofins, 2015).

Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficiales o subterráneas, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo humano,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, (MAE, 2003)

Tabla 8. Criterios De Calidad De Fuentes De Agua Para Consumo Humano Y

Doméstico

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1.000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	< 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	< 2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6 – 9

Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Nota: Fuente TULSMA, Libro VI, Anexo 1. Tabla 1. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Tabla 9. Criterios De Calidad De Aguas Para Riego Agrícola

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película visible	-	Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Cromo	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0

Huevos de parásitos	-	-	Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible	-	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH	-	6 – 9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Nota: Fuente TULSMA, Libro VI, Anexo 1. Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

3.7.2. Objetivo 2

- Generar modelos climáticos para determinar la variabilidad de temperatura y precipitación en el páramo de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.

3.7.2.1. Datos históricos del Satélite MERRA 2

Se realizó la recolección de datos de precipitación y temperatura en la plataforma Satélite MERRA 2 desde el año 1981 hasta el 2025, se extrajo información diaria de cada año para poder realizar un promedio mensual y corregir los datos mediante datos dudosos con el método de tratamiento de datos Outlier acorde al límite máximo y mínimo, mediante su gráfica conocer los valores que están excediéndose la línea del umbral.

Con los valores anteriormente corregidos de precipitación y temperatura se comparó la variabilidad climática que se ha presentado en los diferentes años y se elaboró los respectivos modelos climáticos. Con la información se realizó diagramas ombrotérmicos para conocer los meses de temporada seca (déficit de precipitaciones), estación lluviosa (precipitaciones abundantes).

Con GOOGLE COLAB se diseñaron gráficos de variabilidad interanual de temperatura y precipitación, series de anomalías con la posible proyección hacia los años futuros. Además, con toda la información se analizó patrones de recurrencia y tendencias climáticas con la finalidad de el comportamiento histórico del sistema hidrometeorológico del páramo y sus posibles alteraciones a lo largo del tiempo.

3.7.2.2.Cálculo de la precipitación media

Con ayuda de la página web WorldClim se extrajo datos del “Clima futuro, resolución espacial de 30 segundos” de los mapas de EC-Tierra3-Vegeta-ssp370 de escenarios de emisiones altas de las precipitaciones del 2021-2040. En QGIS se insertó la información obtenida para la visualización de los datos de precipitación futura con la misma manera se realizó el procesamiento de “Datos climáticos históricos” del índice de temperatura BIO12 (precipitación) a 30 segundos del período 1970-2000.

En WorldClim el SSP significa Shared Socioeconomic Pathways (Trayectoria Socioeconómicas Compartidas) son los escenarios globales que se usa para proyectar las alteraciones climáticas en el futuro hasta el año 2100.

Las variables bioclimáticas están codificadas de la siguiente manera:

Índices de temperatura:

BIO1 = Temperatura media anual

BIO2 = Rango diurno medio (media de la diferencia mensual entre la temperatura máxima y la mínima)

BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)

BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)

BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido

BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío

BIO7 = Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)

BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo

BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco

BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido

BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío

Índices de precipitación:

BIO12 = Precipitación anual

BIO13 = Precipitación del mes más lluvioso

BIO14 = Precipitación del mes más seco

BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)

BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo

BIO17 = Precipitación del trimestre más seco

BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido

BIO19 = Precipitación del trimestre más frío

3.7.2.3. Cantidad de Agua a Futuro

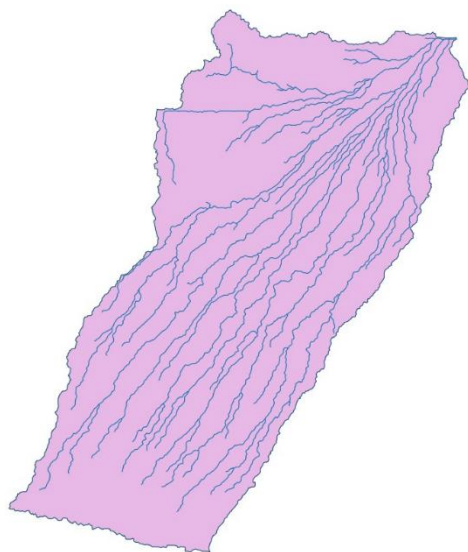
Para conocer la proyección de la cantidad de agua a futuro se procedió de la siguiente forma:

Paso A: Delimitación de las Microcuencas de Aporte

1. Utilizar el Modelo de Elevación Digital, obtenido del proyecto Macro para poder delimitar las cuencas de las fuentes registradas.

2. Con ayuda de QGIS y la herramienta ArcGeek Calculator, con Stream Network with Order para obtener las cuencas y microcuencas.
3. Con la misma herramienta, pero con Watershed Basin delineation para obtener el área de captación y las microcuencas que aportan el recurso hídrico a las fuentes.

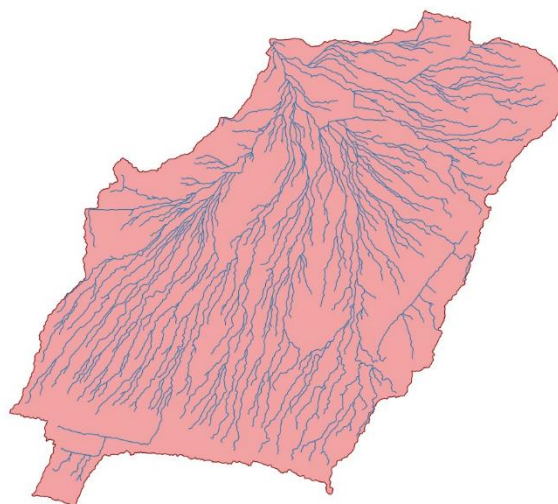
Área de captación de la fuente 1



Área en Km²

0,041

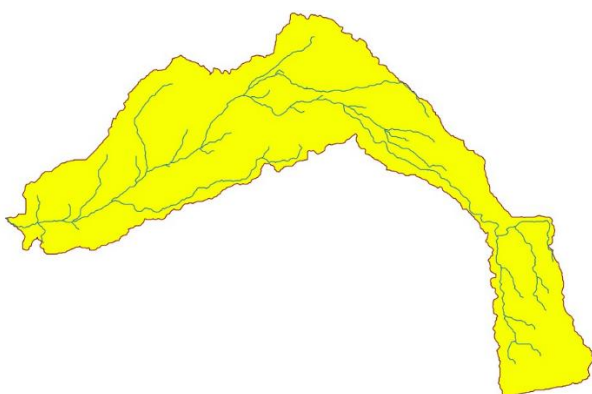
Área de captación de la fuente 2



Área en Km²

0,189

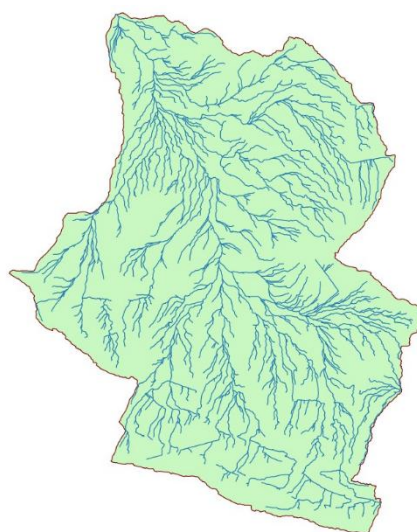
Área de captación de la fuente 3



Área en Km²

0,019

Área de captación de la fuente 4



Área en Km²

0,368

Paso B: Extracción de Valores Climáticos (Históricos vs. Futuro)

1. Carga en QGIS los rasters de precipitación de World Clim del registro histórico (1970-2000) y datos futuros (2021-2040).
2. Con un recorte de los mapas (Histórico-Futuros), se pudo obtener datos de precipitación de cada cuenca.
3. utilización del método de la media aritmética para conocer los valores de la precipitación anual y mensual de cada una de las fuentes.
4. Calcula el factor de Cambio de Precipitación anual:

4. Fórmula del Delta de precipitación

$$\Delta P = \frac{P_{futura}}{P_{historica}} \quad (3)$$

(Carril, Flombaum, & Menéndez, 2023)

Paso C: Modelado del Balance Hídrico de la Fuente

El caudal que se midió en cada una de las fuentes es el resultado del agua que llueve (P) menos el agua que se evapora por la vegetación y el suelo (Evapotranspiración Real, ETR) y lo que se infiltra profundamente.

Coefficiente de Escorrentía / Rendimiento de la Cuenca (C):

1. **Determinar el Coeficiente Base (C):** Relacionar los caudales medidos en campo con la precipitación actual de los mismos meses para estimar qué porcentaje de lluvia se convierte efectivamente en el caudal de la fuente.
2. **Aplicar la Ecuación de Proyección:** Para proyectar el volumen o caudal futuro, multiplicar el caudal promedio actual medido de las salidas de campo (Q_{actual}) por el factor de cambio de precipitación obtenido de WorldClim y un factor de incremento de temperatura (Evapotranspiración):

5. Fórmula del caudal futuro

$$Q_{futuro} = Q_{actual} \times \Delta P \times (1 - \Delta ET) \quad (4)$$

Paso D: Análisis de Escenarios de Riesgo

Realizar una tabla comparativa de los resultados que muestren el comportamiento de las 4 fuentes:

1. Caudal Actual Monitoreado (L/s)
2. Caudal Proyectado Escenario SSP

3.7.3. *Objetivo 3*

- Establecer una propuesta de medidas para conservación de la zona de producción hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas, parroquia Simiátug, cantón Guaranda.

Para la propuesta de medidas de conservación de la zona de producción hídrica se centra en los resultados de los objetivos anteriores relacionados con cantidad, calidad y la variabilidad climática.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

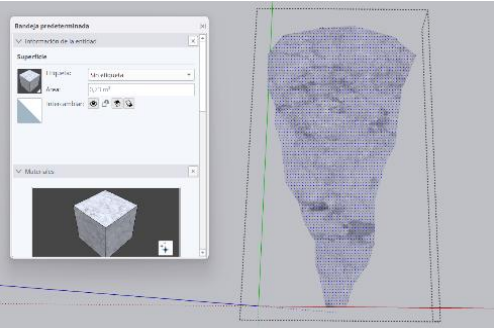
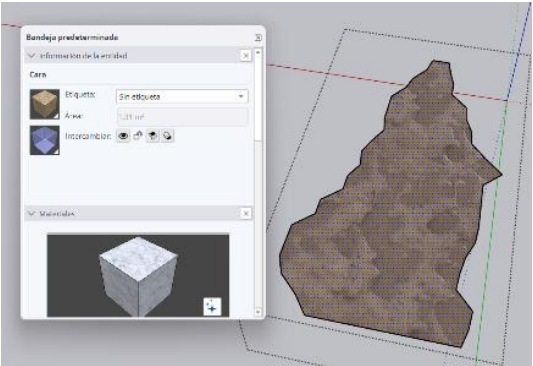
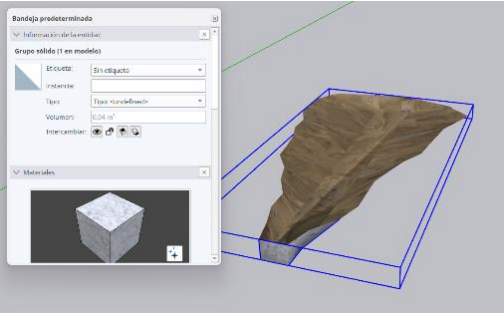
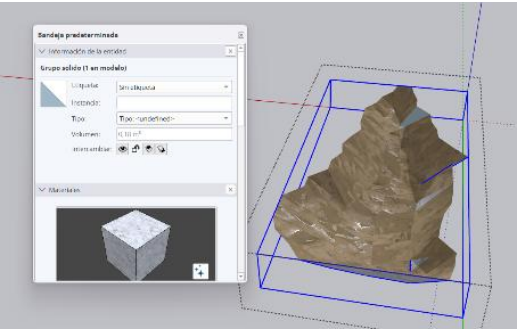
4.1.1. Resultado Objetivo 1

4.1.1.1. Cuantificar la cantidad del agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.

Para el cumplimiento del objetivo se realizaron visitas de campo en el páramo de Cruz de Ventanas Simiátug para la identificación de cuatro fuentes específicas de recolección de datos de la calidad, cantidad y el área de producción hídrica. Durante el recorrido se identificó que las 3 primeras fuentes son de almacenamiento es decir que el agua está estancada y una vez que llega a su límite de capacidad se evidencia el recorrido de esta mientras que la fuente número 4 es de tipo cascada en donde el agua fluye libremente y su recorrido es de forma vertical.

En la tabla 9 describe los datos generales como ubicación, área y volumen para conocer el nivel almacenamiento que presentan las distintas fuentes y con esto lograr entender la alteración o cambio en la cantidad que presenta acorde a diferentes meses para poder realizar la respectiva comparación de resultados.

Tabla 10. Cantidad de agua

	Salida 1	Salida 2	Salida 3
Cantidad de agua	12/12/2025	23/01/2026	20/03/2026
Fuente 1			
Coordenadas:			
X: 731763 E	Recolección de		
Y: 9855227 N	muestras de agua		
			
			
			

Fuente 2:

Coordenadas:

X: 731820 E

Y: 9855374 N

Recolección de
muestras de agua

Área:

9,47 m²

Área:

9,8 m²

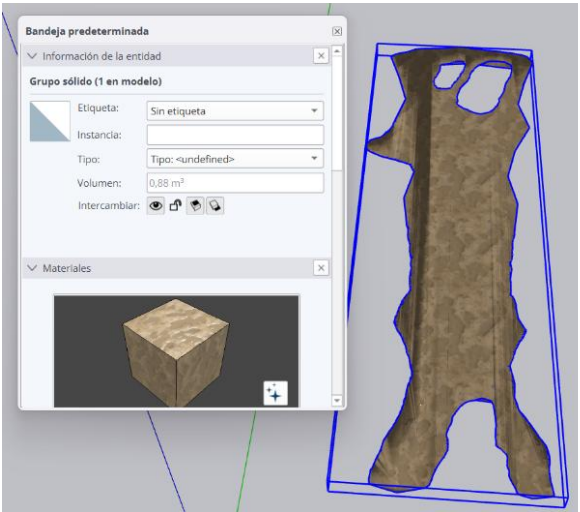
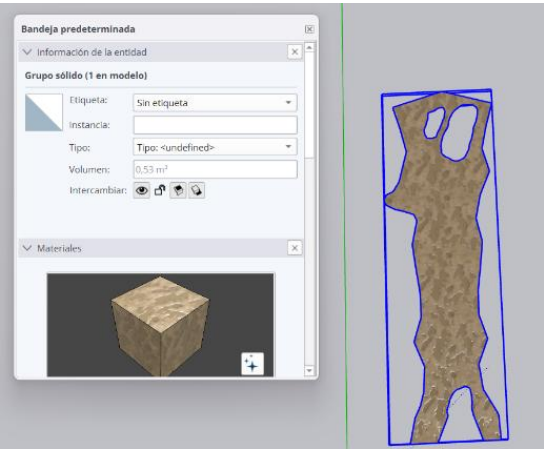
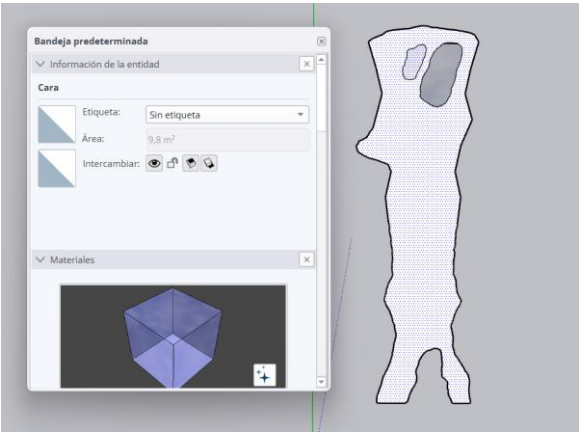
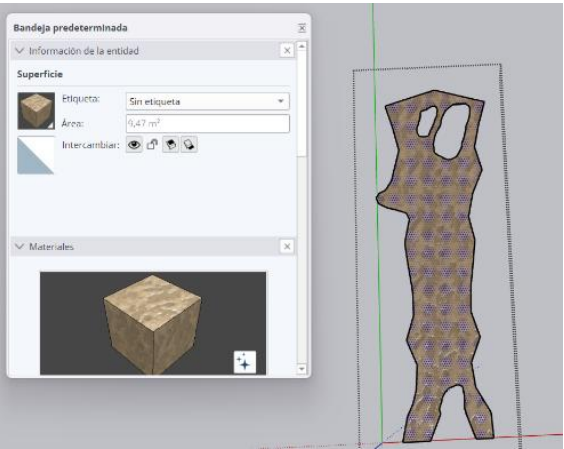
Volume

n: 0,53

m³

Volumen:

0,88 m³



Fuente 3:

Coordenadas:

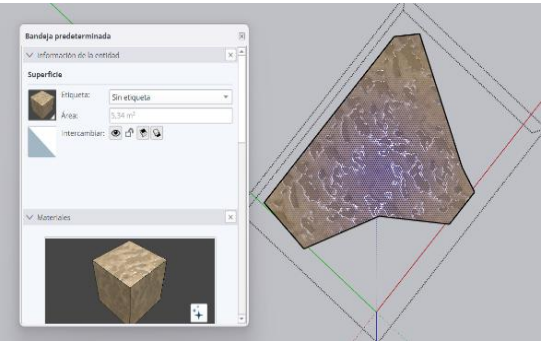
X: 731275 E

Y: 9855600 N

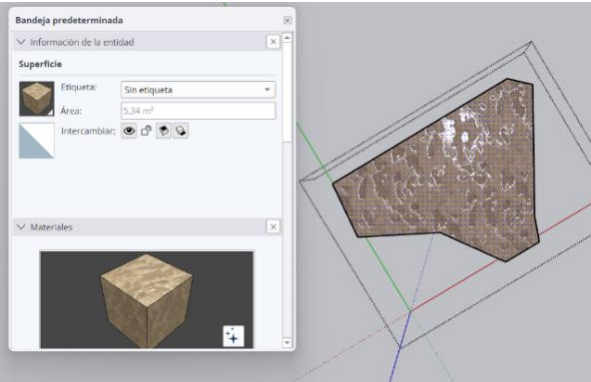
Recolección de
muestras de agua



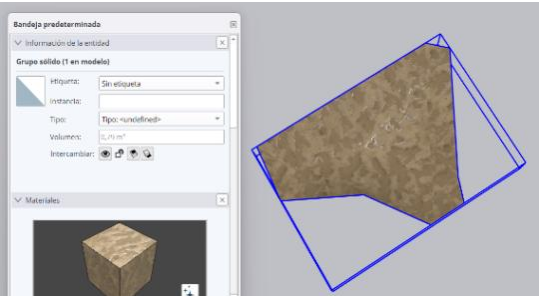
Área:
5,34 m2



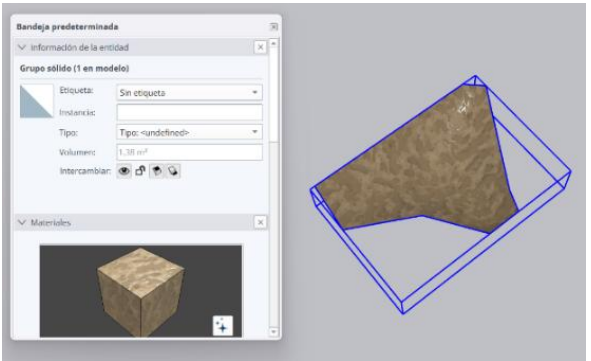
Área:
5,34 m2



Volume
n: 0,79
m3



Volumen:
1,38 m3



Fuente 4:

Caudal

Coordenadas:

X: 731137 E

Y: 9855752 N

Se midió el caudal con el llenado de una botella plástica de 0,500 L en 10 momentos con sus respectivos segundos de llenado para obtener un total y su respectivo promedio

$$\text{Total} = 66,7 \text{ s}$$

$$Q = V/t$$

$$Q = 5 \text{ L} / 66,7 \text{ s}$$

$Q = 0,075 \text{ L/s}$ - Volumen de Caudal, es extremadamente bajo, el agua está casi estancada

$$1000 \text{ L/s} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,075 \text{ L/s} / 1000 = 0,000075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



Se midió el caudal con el llenado de una botella plástica de 1L en 10 momentos con sus respectivos segundos de llenado para obtener un total y su respectivo promedio

$$\text{Total} = 16,14 \text{ s}$$

$$Q = V/t$$

$$Q = 10 \text{ L} / 16,1 \text{ s}$$

$Q = 0,62 \text{ L/s}$ - Volumen de Caudal, el agua ya tiene suficiente masa y velocidad

$$1000 \text{ L/s} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,62 \text{ L/s} / 1000 = 0,00062 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



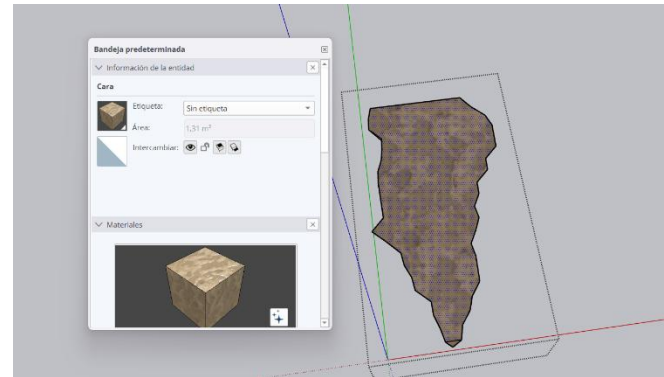
Salida 4

Información

08/05/2026

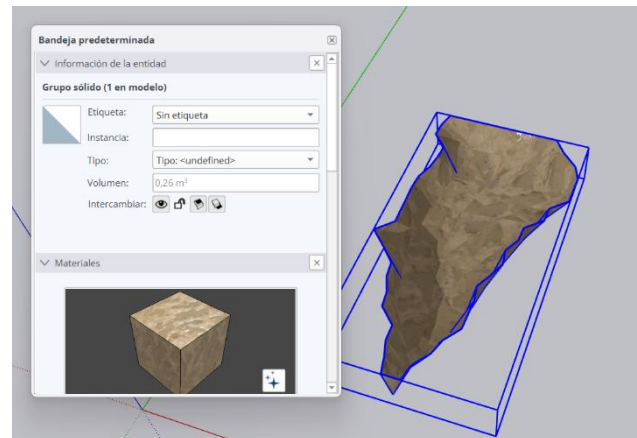
Área:

1,31 m²



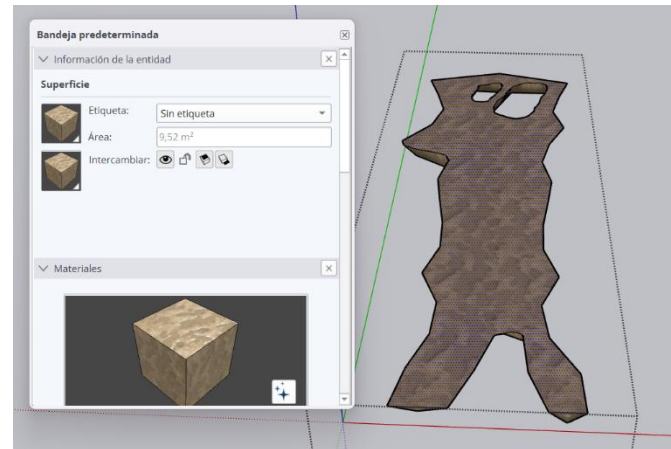
Fuente 1

Volumen: 0,26 m³



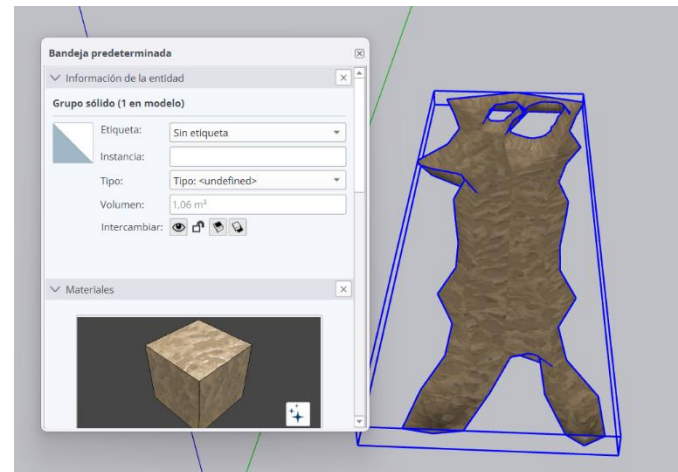
Área:

9,52 m²



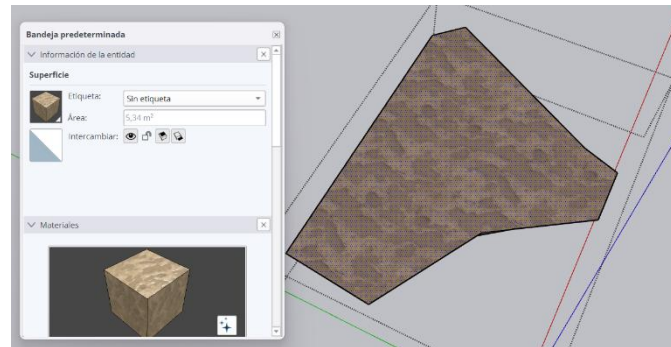
Fuente 2

Volumen: 1,60 m³



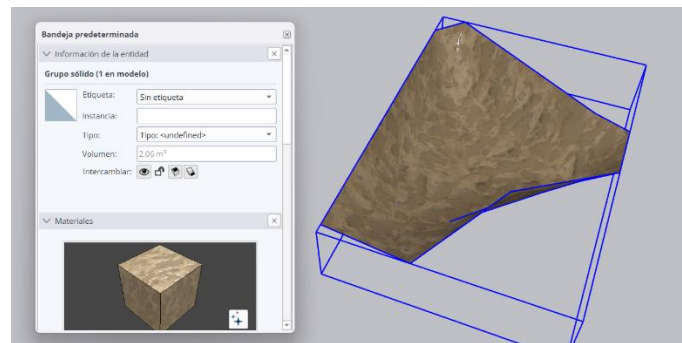
Área:

5,34 m²



Fuente 3

Volumen: 2,06 m³



Se midió el caudal con el llenado de una botella plástica de 1L en distintos momentos con sus respectivos segundos de llenado para obtener un total y su respectivo promedio

$$\text{Total} = 33,52 \text{ s}$$

$$Q = V/t$$

$$Q = 10 \text{ L} / 33,52 \text{ s}$$

$Q = 0,30 \text{ L/s}$ - Volumen de Caudal, el agua represento incremento con masa y velocidad

Fuente 4

$$1000 \text{ L/s} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,30 \text{ L/s} / 1000 = 0,00030 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



***Nota:** utilización del Software SketchUp*

Con el cálculo de volumen y área de las fuentes en las distintas fechas se puede conocer el aumento y la disminución del agua en diferentes fechas:

Tabla 11. Resultados comparativos de cantidad de agua en las fuentes hídricas

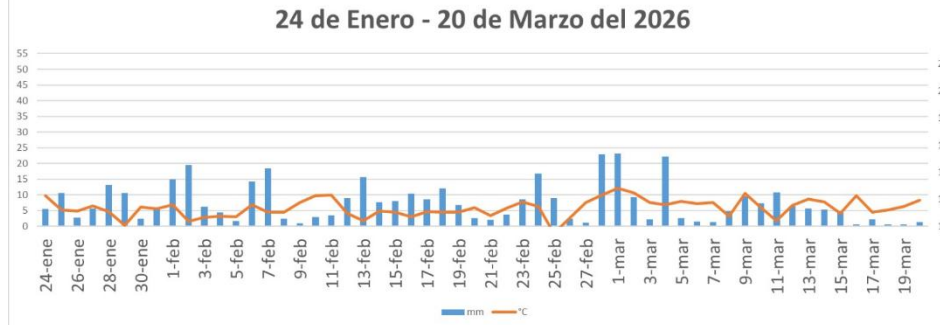
Fuente hídrica	Parámetro	Salida 2 (23/01/2026)	Salida 3 (20/03/2026)	Salida 4 (08/05/2026)	Variación
Fuente 1	Área	0,73 m ²	1,31 m ²	1,31 m ²	Aumentó
	Volumen	0,04 m ³	0,18 m ³	0,26 m ³	Aumentó considerablemente
Fuente 2	Área	9,47 m ²	9,8 m ²	9,52 m ²	Se mantuvo relativamente estable
	Volumen	0,53 m ³	0,88 m ³	1,60 m ³	Aumentó
Fuente 3	Área	5,34 m ²	5,34 m ²	5,34 m ²	Se mantuvo constante
	Volumen	0,79 m ³	1,38 m ³	2,06 m ³	Aumentó considerablemente
Fuente 4	Caudal	0,075 L/s	0,62 L/s	0,30 L/s	Se mantuvo relativamente estable
		(0,000075 m ³ /s)	(0,00062 m ³ /s)	(0,00030 m ³ /s)	

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

Tabla 12. Interpretación de resultados de cantidad de agua

Registro	Total de Volumen	Gráfico	Descripción
Salida 1			En el mes de noviembre se observan precipitaciones de 13, 64 mm y temperaturas de 13,25 °C siendo valores normales, por otro lado, a inicios del mes de diciembre sus precipitaciones disminuyen y de igual manera el volumen de las fuentes.
Salida 2	1,36 m³		Debido a que las precipitaciones disminuyeron a 4,43 mm con relación a la temperatura de 11,61 °C, se registró en el área de conservación estrés hídrico y observamos que las fuentes tuvieron una disminución drástica de su volumen.

Salida 3 2,44 m³



Desde la última salida se presentaron precipitaciones de 7,40 mm considerables con relación a la temperatura de 11,34 °C, debido al aumento de precipitaciones las fuentes hídricas aumentaron su volumen.

Salida 4 3,92 m³



Desde la última salida se registraron precipitaciones de 12,56 mm, pero desde el mes de abril existió el aumento a 15,67 mm con relación a la temperatura de 12,95, hubo un incremento considerable en el volumen de las fuentes

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

4.1.1.2. Calidad de agua del área de producción hídrica de la comunidad de Cruz de Ventanas.

Las muestras de agua de las fuentes identificadas fueron recolectadas para el análisis de calidad en el Laboratorios del Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la UEB, acorde a los parámetros establecidos por el ICA-NSF Índice de Calidad de Agua de la Nacional Sanitation Foundation de Estados Unidos con la combinación de parámetros físicos/químicos y biológicos. Se trabajó con nueve parámetros, ocho físicos y un parámetro microbiológico y adicional a otros parámetros, es importante mencionar que en los parámetros adicionales el laboratorio no contaba con los siguientes compuestos Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico los cuales no se pudo desarrollar el análisis para conocer el valor presente en las fuentes.

Tabla 13. *Recolección de agua para el análisis de fisicoquímico y biológico*



Fuente 1



Fuente 2



Fuente 3



Fuente 4

Tabla 14. Resultados del laboratorio UEB

	Potencial de hidrogeno (PH)	Conductividad	Turbidez	Sólido disuelto total (TDS)	Oxígeno disuelto (OD)	Nitritos (NO-2)	Nitratos (NO-3)	Fosfatos	Aluminio (Al)	Manganeso (Mn)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5)	Coliformes totales	Coliformes fecales
Fuente 1	6,35	52,1	1,82	24,6 mg/L	6,91 mg/L	0,001 mg/L	0,7 mg/L	34 mg/L	0,041 mg/L	0,234 mg/L	0,0	2,3 mg/L	119	Ausencia
Fuente 2	6,80	72,2	12,0	37,1 mg/L	6,82 mg/L	-0,000 mg/L	0,0 mg/L	14,7 mg/L	0,138 mg/L	2,05 mg/L	0,0	0,1 mg/L	328	Ausencia
Fuente 3	6,76	85,3	6,82	40,5 mg/L	6,86 mg/L	-0,000 mg/L	2,1 mg/L	11,4 mg/L	0,092 mg/L	0,575 mg/L	136	19 mg/L	42	Ausencia
Fuente 4	7,50	52,7	1,52	25,0 mg/L	6,86 mg/L	-0,000 mg/L	0,6 mg/L	32,8 mg/L	0,030 mg/L	0,017 mg/L	130	12 mg/L	53	Ausencia

***Nota:** Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes*

Tabla 15. Índice De Calidad Del Agua - NSF

PUNTO / MUESTRA	pH	Temperatura a agua °C	Temperatura Ambiente °C	Variación de Temperatura	Oxígeno disuelto (mg/L)	OD %	Sólido Disueltos Totales (ppm = mg/L)	Turbidez (NTU = UFT)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes Fecales (UFC)	DB05 (mg/L)
Fuente 1	6,35	8,3	13	-4,7	6,91	60	24,6	1,82	0,7	34	0	2,3
Fuente 2	6,8	9	15	-6,0	6,82	61	37,1	12	0	14,7	0	0,1
Fuente 3	6,76	12	19	-7,0	6,86	66	40,5	6,82	2,1	11,4	0	19
Fuente 4	7,5	13	20	-7,0	6,86	67	25	1,52	0,6	32,8	0	12

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

Tabla 16. Resultados de ICA NSF

ICA NSF	Calidad del Agua
54,22	Media
52,49	Media
43,81	Mala
48,58	Mala

En los resultados de las distintas muestras se tuvo los siguientes valores:

Tabla 17. Calidad de agua de consumo

Fuente	Calidad para consumo humano	Justificación
Fuente 1	Media	La calidad es media por sus valores bajos valores de turbidez (1,82 NTU), sólidos disueltos totales (24,6 mg/L) y ausencia de coliformes fecales. Sin embargo, la concentración de fosfatos (34 mg/L) disminuye la puntuación final del ICA-NSF.
Fuente 2	Media	Tiene un resultado de calidad media por presentar ausencia de coliformes fecales, baja DBO ₅ (0,1 mg/L) y bajos nitratos. No obstante, la turbidez (12 NTU) y la presencia de fosfatos (14,7 mg/L) reducen la calidad global del agua.
Fuente 3	Mala	Tiene mala calidad debido a los elevados valores de DBO ₅ (19 mg/L), DQO (136 mg/L), sólidos disueltos (40,5 mg/L) y nitratos (2,1 mg/L), evidenciando una mayor carga orgánica que afecta la calidad del recurso hídrico.
Fuente 4	Mala	Se clasifica como calidad mala debido a los altos valores de fosfatos (32,8 mg/L), DBO ₅ (12 mg/L) y DQO (130 mg/L), parámetros que disminuyen significativamente la puntuación del índice, pese a presentar ausencia de coliformes fecales y baja turbidez.

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

Por otra parte, el enfoque del TULSMA (Texto Unificado de Regulación Secundaria del Ministerio del Ambiente), en particular en su Capítulo VI (Anexo 1), determina las normas, criterios y límites aceptables para medir la calidad del agua y controlar sus vertidos

en Ecuador, a continuación, se va a realizar la comparación de resultados para agua de consumo y riego:

Comparación de los parámetros analizados con los criterios de calidad para consumo humano y doméstico (TULSMA):

Tabla 18. Comparación de resultados de laboratorio con TULSMA para consumo humano

Parámetro	Límite TULSMA	F1	F2	F3	F4
pH	6 – 9	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Turbidez (UNT)	≤ 100	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/L)	No establece	6,91	6,82	6,86	6,86
Nitritos (mg/L)	$\leq 0,2$	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Nitratos (mg/L)	≤ 50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
DBO ₅ (mg/L)	< 2	No cumple	Cumple	No cumple	No cumple
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	≤ 1000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Aluminio (mg/L)	No establece	0,041	0,138	0,092	0,030
Manganeso (mg/L)	No establece	0,234	2,05	0,575	0,017
Fosfatos (mg/L)	No establece	34	14,7	11,4	32,8
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	No establece	52,1	72,2	85,3	52,7
Sólidos disueltos totales (mg/L)	No establece	24,6	37,1	40,5	25,0
DQO (mg/L)	< 4	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

Comparación de los parámetros analizados con los criterios de calidad del TULSMA para riego agrícola:

Tabla 19. Comparación de resultados de laboratorio con TULSMA para riego agrícola

Parámetro	Límite TULSMA	F1	F2	F3	F4
pH	6 - 9	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/L)	≥ 3	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Nitritos (mg/L)	$\leq 0,5$	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	≤ 1000	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Manganeso (mg/L)	$\leq 0,2$	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple
Aluminio (mg/L)	$\leq 5,0$	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Turbidez	No establece	1,82	12,0	6,82	1,52
Nitratos	No establece	0,7	0,0	2,1	0,6
Fosfatos	No establece	34	14,7	11,4	32,8
Conductividad	No establece	52,1	72,2	85,3	52,7
Sólidos disueltos totales	No establece	24,6	37,1	40,5	25,0

Nota: Elaborado por Jhon Nicolalde y Nelly Paredes

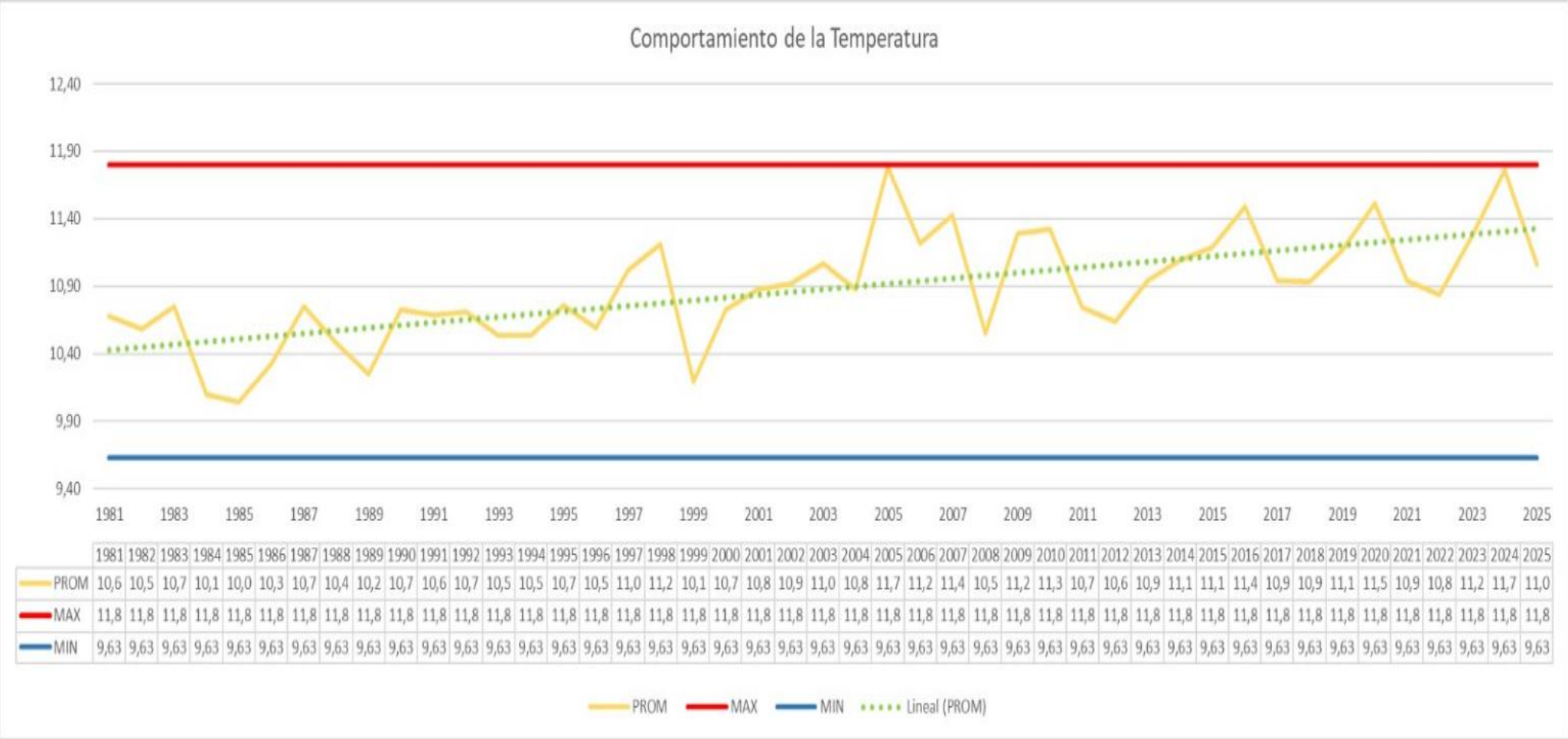
4.1.2. Resultado Objetivo 2

Para conocer la variabilidad climática se trabajó con datos históricos desde año 1981 hasta el año 2025 para poder entender los cambios o patrones generados y de esta manera comprender cuando se presentaron alteraciones y secuencias de precipitaciones y temperaturas iguales e incluso con estos datos podemos realizar pronósticos para futuros años.

Por otro lado, el mar y los océanos tienen gran influencia en el clima por su capacidad de absorber energía producida por el sol; existen corrientes marinas calidas y frías dependiendo de la temperatura, su zona de origen, y sus masas de agua. El Ecuador es la zona más cálida ya que las zonas centrales son las más templadas y los polos son las más frías; el nivel del mar ha ido cambiando durante toda la historia de la tierra; si el agua del mar se calienta existe más evaporación del agua hacia la atmósfera y luego de su condensación regresa a la tierra en forma de lluvias o precipitaciones más intensas (Vera C, 2020).

Con los datos históricos se logró conocer que El área de Cruz de Ventanas presentó diferentes niveles de precipitación y temperatura, para analizar su variación se utilizó parámetros estadísticos para conocer su comportamiento.

Figura 2. Diagrama de comportamiento temporal de temperatura Cruz de Ventanas 1981 – 2025

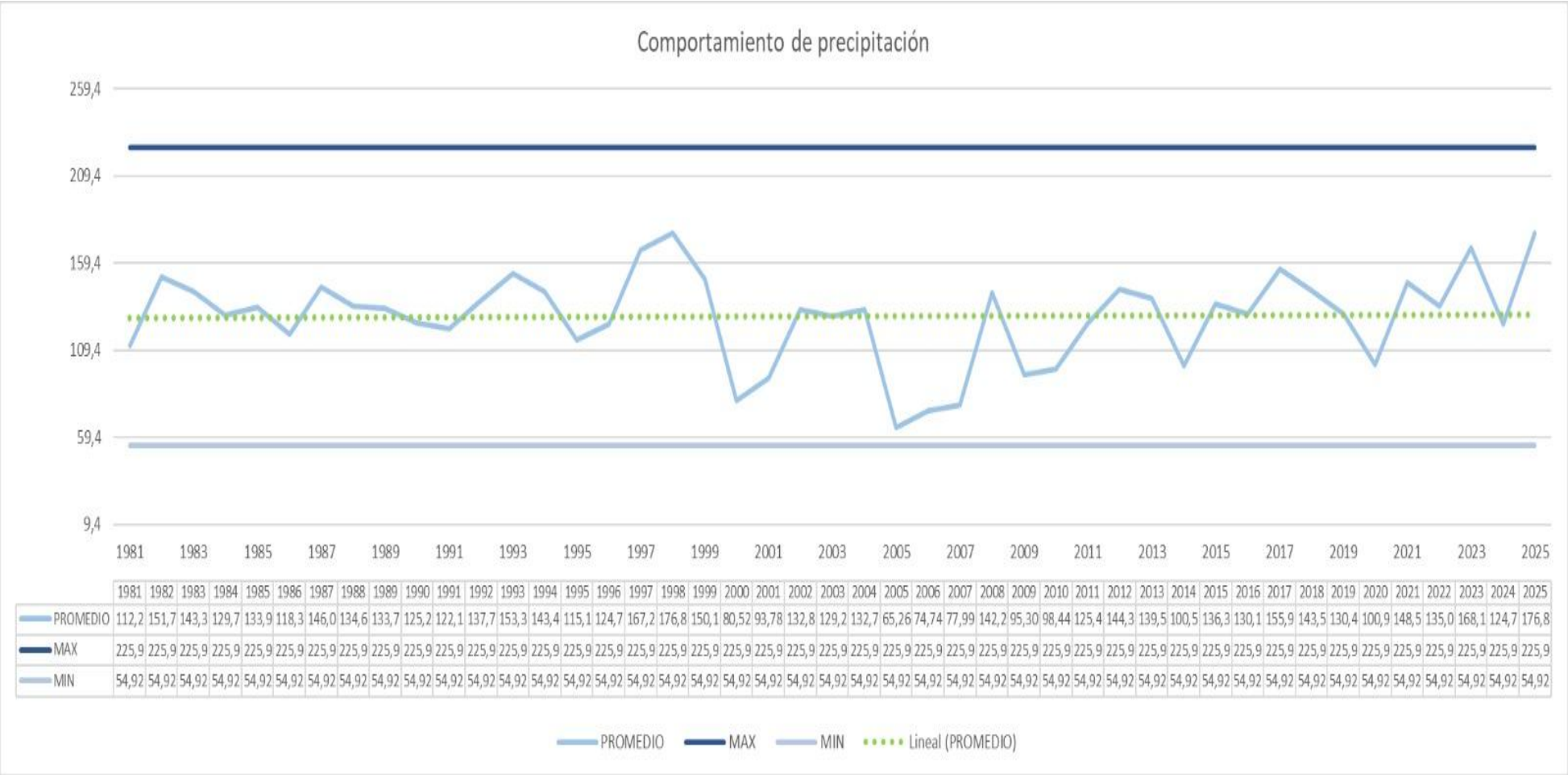


Nota: Fuente, datos obtenidos por el Satélite Merra 2 desde 1981-2025

La dinámica de temperatura anual del período 1981–2025 refleja incremento térmico, evidenciada por la línea promedio de tendencia positiva, mantiene modificaciones progresivas de las condiciones climáticas del páramo de Cruz de Ventanas. Se observan variaciones anuales, sin embargo, estas no modifican la tendencia general de calentamiento, ya que las cifras de las últimas décadas son mayores que las obtenidas del comienzo de la serie. Por ejemplo, la temperatura aumento de nivel alrededor de 10,0–10,6 °C en los primeros años a registrar cifras superiores a 11 °C a varios años tras el 2000, alcanzando picos de hasta 11,7 °C. Este patrón no muestra un aumento lineal constante, sino una serie repetitiva de aumento, disminución, estabilización y nuevo aumento. En toda la serie de comportamiento se observa que después de los años con temperaturas elevadas hay uno o dos años de ligera disminución o estabilidad antes de registrar nuevamente incrementos, este patrón que se repite aproximadamente cada 3 a 5 años. Con cada nueva oscilación existe un nivel térmico ligeramente superior al de las décadas anteriores, y muestra que las fluctuaciones climáticas se desarrollan acorde el calentamiento progresivo.

Otro punto relevante es que la frecuencia de años cálidos aumenta hacia el final de la serie, mientras que los eventos con temperaturas bajas son menos recurrentes, esto indica que el sistema climático local mantiene sus procesos naturales de variabilidad, pero con un desplazamiento gradual hacia condiciones más cálidas. En la parte hidrológica, este comportamiento puede favorecer al proceso de evapotranspiración, disminuir la retención de humedad en el suelo y afectar la capacidad reguladora del ecosistema de páramo, especialmente durante períodos con déficit de precipitación.

Figura 3. Diagrama de comportamiento temporal de precipitaciones Cruz de Ventanas 1981 – 2025



Nota: Fuente, datos obtenidos por el Satélite Merra 2 desde 1981-2025

La serie de precipitaciones anuales promediadas entre 1981 y 2025 exhibe una gran variación de un año a otro, algo típico en ecosistemas de montaña y páramo. Los niveles de precipitación tienen cambios más significativos entre años húmedos y secos, con una dinámica menos predecible de secuencias. Pero la tendencia general apunta a un leve aumento en las precipitaciones durante los años ya mencionados, indicando que, la lluvia ha permanecido constante o ha crecido ligeramente en distintos años.

En este comportamiento están presente fases de aumento y disminución en las lluvias. Los años con altos valores tienden a ser seguidos por uno o más años donde las precipitaciones descienden, antes de que de nuevamente superen los promedios previos. Todo el ciclo es oscilante ya que se mantiene de forma recurrente a lo largo de toda la serie, las variaciones climáticas que impactan directamente en la disponibilidad de agua en el páramo.

Una parte fundamental para considerar es la aparición de eventos extremos que alteran de manera temporal el comportamiento medio de la serie. Como descensos más marcados se observan entre los años 2000 y 2007, siendo años que registraron las precipitaciones más bajas de toda la serie histórica. Por otro lado, los niveles de lluvia muestran una recuperación gradual, con registros de varios años con cifras superiores a las normales, especialmente hacia el final del período estudiado.

Para la parte de enfoque hidrológico, la alternancia entre años húmedos y secos genera una problemática frente al sistema hídrico y las variaciones climáticas, debido a que los años con precipitaciones elevadas favorecen a la recarga de fuentes de agua, al almacenamiento de humedad en el suelo y a la regulación hídrica del páramo; pero si los intervalos son de menor lluvia pueden existir disminución de los caudales y afectar la accesibilidad de este recurso vital para las comunidades.

Diagramas Ombrotérmicos Cruz de Ventanas 1981 – 2025

Se realizaron diagramas ombrotérmicos o climogramas del páramo de Cruz de Ventanas durante los años de 1981–2025, esto permitió analizar el comportamiento anual del clima entre temperaturas, precipitaciones y los grados de mar. En estos diagramas se puede identificar los meses secos y lluviosos o patrones de secuencia que generan variaciones climáticas que se puede presentar a lo largo de los años.

Cruz de ventanas se encuentra en la región interandina en los altos páramos teniendo presencia de cambios en cada uno de sus años como puede ser períodos normales, secos, lluviosos, anormales entre otros. Las estaciones del año en el Ecuador se diferencian en dos períodos: verano (época seca) e invierno (época húmeda) se considera los siguientes meses con un régimen normal.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) denomina a estas etapas como:

Tabla 20. Régimen climático OMM

Régimen climático normal (Anual)	
Período o temporada seca (déficit de precipitaciones)	Estación lluviosa o temporada de lluvias (precipitaciones abundantes)
Mayo	Octubre
Junio	Noviembre
Julio	Diciembre
Agosto	Enero
Septiembre	Febrero
	Marzo
	Abril

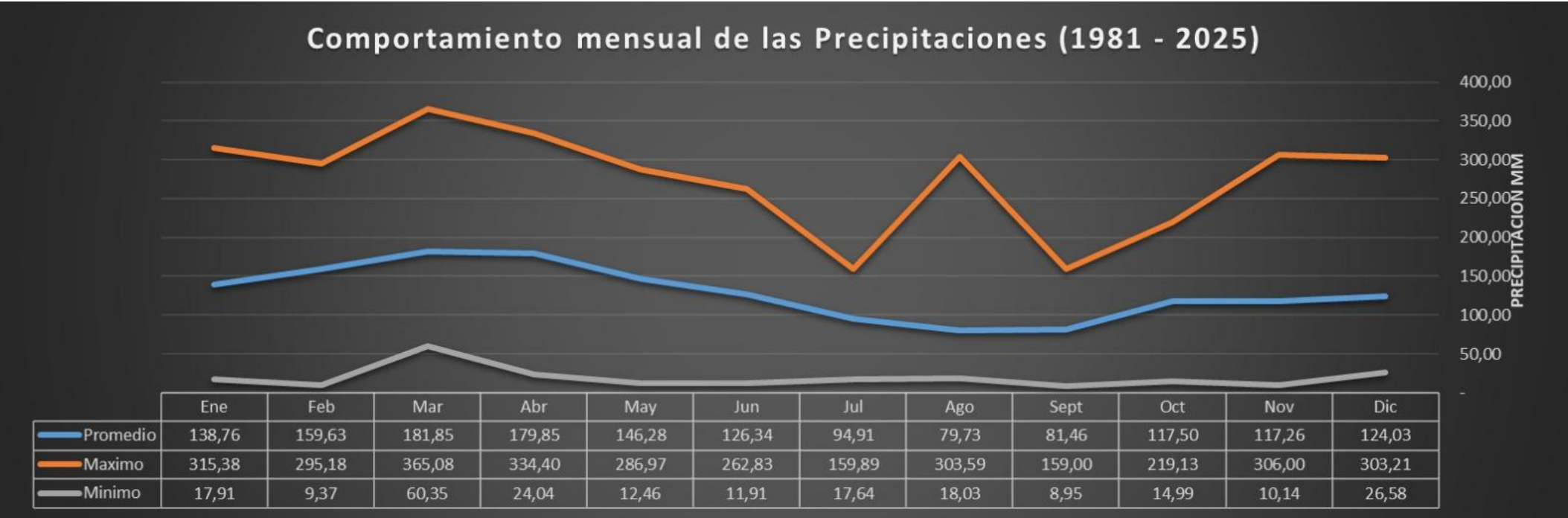
Nota: Fuente Régimen climático OMM

Con el análisis de los gráficos del comportamiento mensual de la precipitación y la temperatura desde el año 1981 al 2025, permite identificar cómo es la estación climática en cada uno de los meses a lo largo del año, coincidiendo con la clasificación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Acorde a lo que se observa en los gráficos, en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre corresponden al período o temporada seca o también llamada como déficit de precipitaciones. En estas fechas las curvas del gráfico presentan un nivel bajo, lo que demuestra la llegada del verano y la disminución en las lluvias. Entre estos, el mes de mayo funciona como transición empezando las sequías, mientras que septiembre marca la salida de esta época seca.

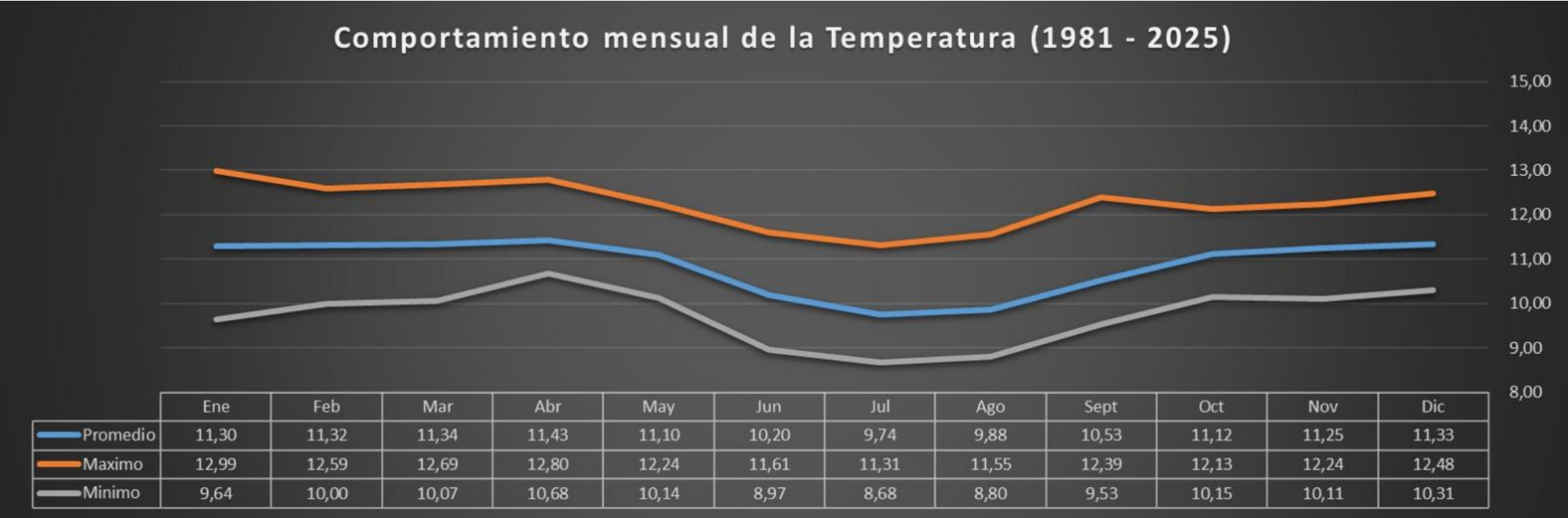
Los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril pertenecen a la estación lluviosa o precipitaciones abundantes. El gráfico refleja que las líneas vuelven a subir, como resultado de este período se concentran las mayores precipitaciones del año junto con un aumento en las temperaturas, hasta que en abril termina esta etapa para nuevamente dar paso al verano.

Figura 4. Comportamiento mensual de las precipitaciones (1981 - 2025)



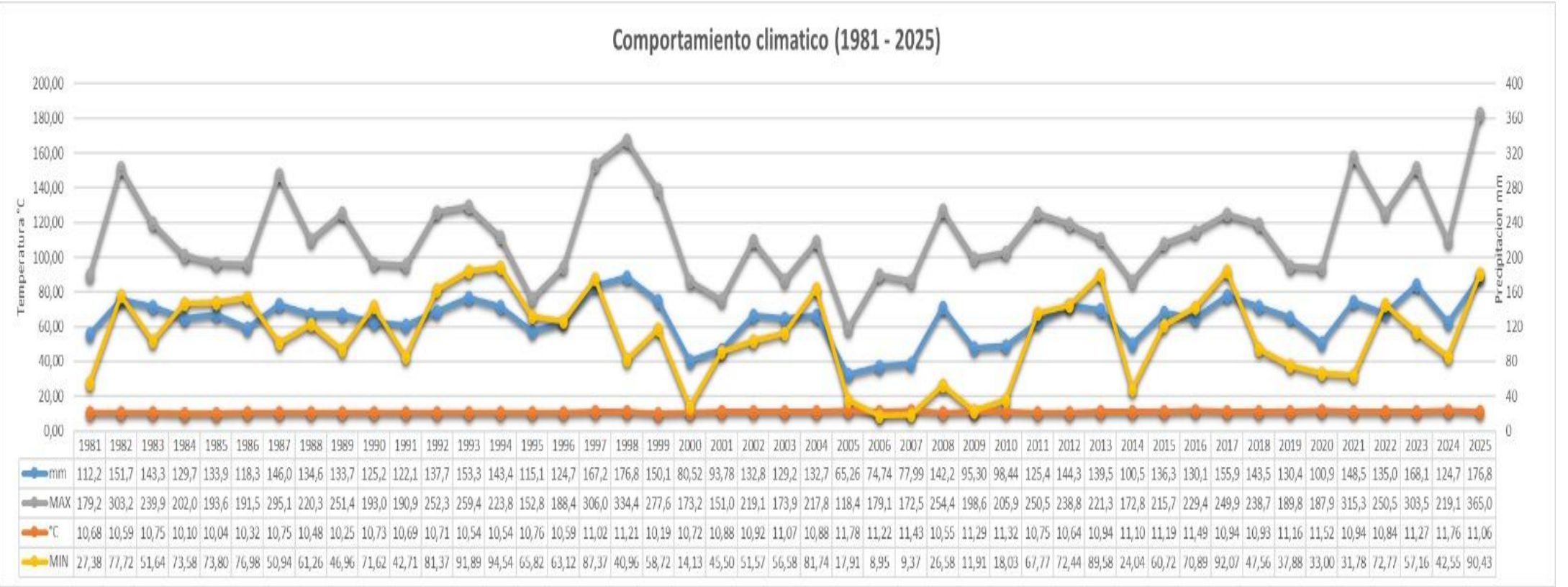
Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

Figura 5. Comportamiento mensual de la temperatura (1981 - 2025)



Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

Figura 6. Resumen de los diagramas ombrotérmicos 1981 - 2025



Nota: Fuente, datos obtenidos por el Satélite Merra 2 desde 1981-202

La tendencia del clima no sigue un patrón constante, sino que presenta ciclos alternativos de estabilidad, aumento y disminución que están relacionados con períodos de humedad y sequía. Para el año 1981 a 1994, se observa una estable, con precipitaciones medias entre 112 y 153 mm y temperaturas promedio cercanas a 10,5 °C. En estos años, se identifican variaciones que ocurren cada 2 a 4 años, mostrando un régimen climático relativamente equilibrado sin eventos extremos de larga duración.

Con el año 1995 al 2004, se encuentra presente la primera alteración significativa en el comportamiento del clima. Las lluvias alcanzan picos relevantes en 1997 y 1998, supera los 167 mm y 176 mm respectivamente, seguidos por una caída entre 2000 y 2004, cuando los registros son inferiores a 100 mm. Este cambio marca una transición de un período húmedo a uno deficitario, que coincide con las anomalías de lluvias detectadas previamente.

La etapa de 2005 a 2010 representa el período más seco en toda la serie histórica. Los niveles más bajos de precipitación se dan en 2005, 2006 y 2007 con cifras de 65,2 mm, 74,7 mm y 77,9 mm respectivamente. Los tres años consecutivos con escasez de agua no continua con el patrón observado en décadas anteriores y muestra disminución en la disponibilidad de agua para el ecosistema de páramo.

A inicios del año 2011, presenta una recuperación climática, con lluvias que superan los 120 mm en muchos de los años. Sin embargo, esta recuperación no es uniforme, porque se alternan los años húmedos y secos, con una mayor variabilidad climática en comparación con las décadas anteriores.

Entre 2021 y 2025, se presencia un nuevo ciclo húmedo, con lluvias elevadas que alcanzan los 176,8 mm en 2025, considerado uno de los registros más altos de toda la serie. Al mismo tiempo, se observa un incremento en la temperatura a lo largo del análisis,

subiendo de cifras alrededor de 10,1 °C en los primeros años a más de 11 °C en los diez años finales, lo cual demuestra un calentamiento en el área estudiada.

El clima muestra un patrón cíclico, alternando entre períodos húmedos y secos que tienen una duración de entre 2 a 4 años. No obstante, desde el año 2000, estos cambios se han intensificado. Esto indica un incremento en la variabilidad del clima a lo largo del tiempo, resultando en diferencias más destacadas entre años áridos y pluviales, lo que afecta directamente la disponibilidad de agua en el área de Cruz de Ventanas. Se considero como un año normal aquel en el que los períodos lluviosos y secos en las épocas que climáticamente les corresponden, a la presencia estacional regular. En consideración para los años lluviosos las precipitaciones se mantienen durante gran parte del año o superaron el comportamiento habitual de la zona, generando una mayor disponibilidad hídrica. Mientras que, los años secos presentan una mayor cantidad de meses con déficit de precipitación con prolongación de períodos de verano, teniendo condiciones de sequía y una reducción en la disponibilidad de agua. Finalmente, se caracterizó años anómalos cuando, no coincide con el patrón esperado, observándose precipitaciones en meses normalmente secos o períodos de sequía en meses que habitualmente registran lluvias, lo que refleja alteraciones en la dinámica climática e hídrica de la comunidad Cruz de Ventanas reflejado en la tabla número 20 detallada a continuación:

Tabla 21. Descripción de diagramas ombrotérmicos 1981–2025

COMPORTAMIENTOS ANUALES 1981 – 2025		
Año	Descripción	¿Por qué?
1981	Normal	Las precipitaciones y temperaturas mantienen un comportamiento estable, coincidiendo los períodos secos y lluviosos con el régimen climático tradicional del páramo.
1982	Normal	Existe equilibrio entre precipitación y temperatura, manteniéndose una distribución climática similar al año anterior sin anomalías importantes.
1983	Normal	Se mantiene la estabilidad climática con coincidencia entre meses húmedos y secos, indica un comportamiento climático regular.
1984	Normal	Las precipitaciones presentan una distribución normal y la temperatura conserva variaciones moderadas sin alteraciones significativas.
1985	Lluvioso	Se registra un incremento importante de precipitaciones durante gran parte del año, alterando temporalmente el comportamiento climático habitual.
1986	Normal	Las precipitaciones disminuyen en comparación con el año lluvioso anterior, nuevamente a condiciones climáticas más estables.
1987	Normal	Los primeros meses presentan precipitaciones elevadas y posteriormente disminuyen progresivamente, manteniendo una secuencia climática equilibrada.
1988	Normal	Coinciden nuevamente los períodos secos y lluviosos, manteniéndose estabilidad entre precipitación y temperatura.
1989	Normal	Se evidencia un ligero desplazamiento de los meses lluviosos y secos posiblemente influenciado por variaciones de temperatura del mar.

1990	Lluvioso	Existe presencia de precipitaciones durante casi todo el año, generando un incremento del régimen hídrico del páramo.
1991	Normal	Las precipitaciones son elevadas durante el primer semestre y disminuyen posteriormente, observándose influencia de la temperatura del mar en los meses secos.
1992	Normal	El comportamiento climático retorna nuevamente a condiciones normales con estabilidad entre temperatura y precipitación.
1993	Normal	Coinciden los períodos húmedos y secos con el régimen climático histórico del ecosistema altoandino.
1994	Lluvioso	Las precipitaciones aumentan considerablemente y presentan relación con incrementos de temperatura superficial del mar.
1995	Lluvioso	Predominan precipitaciones durante la mayor parte del año, con leves disminuciones únicamente en algunos meses secos.
1996	Normal	El sistema climático recupera estabilidad después de los años lluviosos anteriores, manteniéndose condiciones regulares.
1997	Normal	Las precipitaciones y temperaturas mantienen un patrón climático equilibrado sin anomalías significativas.
1998	Normal	Continúa la estabilidad climática con coincidencia entre meses secos y lluviosos propios de la región interandina.
1999	Lluvioso	Se registran precipitaciones intensas durante casi todo el año, representa uno de los períodos más húmedos del análisis histórico.
2000	Seco	Las precipitaciones disminuyen considerablemente después del primer semestre, provocando déficit hídrico y presencia de sequías en varios meses.

2001	Normal	El régimen de precipitaciones retorna temporalmente a condiciones normales y mantiene relación con la temperatura del mar.
2002	Normal	Coinciden nuevamente los períodos secos y lluviosos, estabilidad climática temporal.
2003	Lluvioso	Predominan precipitaciones elevadas durante la mayor parte del año, aunque existe disminución en algunos meses secos tradicionales.
2004	Normal	El comportamiento climático presenta estabilidad y recuperación del régimen histórico de lluvias y temperaturas. Se identifican anomalías importantes debido a precipitaciones
2005	Lluvioso	elevadas en meses considerados históricamente secos, alterando la distribución climática tradicional.
2006	Seco	Existe disminución importante de precipitaciones especialmente en los últimos meses del año, períodos de sequía.
2007	Anormal	Se presentan simultáneamente meses secos y lluviosos fuera de sus períodos habituales, irregularidad climática.
2008	Lluvioso	Predominan precipitaciones elevadas gran parte del año; sin embargo, algunos meses lluviosos presentan disminución de humedad.
2009	Normal	El sistema climático retorna nuevamente a condiciones normales con estabilidad entre precipitación y temperatura.
2010	Normal	Coinciden los períodos secos y lluviosos mantiene el comportamiento climático tradicional del páramo.
2011	Normal	Las precipitaciones mantienen una distribución equilibrada sin presencia de anomalías importantes.
2012	Normal	Existe estabilidad climática y coincidencia entre los períodos húmedos y secos.

2013	Normal	El comportamiento climático conserva condiciones relativamente normales y equilibradas.
2014	Lluvioso	Predominan precipitaciones elevadas durante el año, aunque algunos meses presentan déficit hídrico temporal.
2015	Normal	El régimen climático vuelve nuevamente a condiciones estables y acordes al comportamiento histórico.
2016	Normal	Coinciden los meses secos y lluviosos manteniéndose estabilidad en precipitación y temperatura.
2017	Normal	Continúa un patrón climático relativamente equilibrado sin alteraciones significativas.
2018	Normal	Existen precipitaciones moderadas durante el año, aunque septiembre presenta características más secas de lo habitual.
2019	Normal	El sistema climático mantiene estabilidad y coincidencia entre los períodos secos y húmedos.
2020	Anormal	Se presentan precipitaciones elevadas en meses secos y períodos de sequía en meses húmedos, fuerte irregularidad climática.
2021	Lluvioso	Predominan precipitaciones elevadas durante la mayor parte del año, excepto en algunos meses secos intermedios.
2022	Normal	El comportamiento climático retorna nuevamente a condiciones normales con estabilidad hídrica relativa.
2023	Normal	Aunque el año mantiene comportamiento normal, agosto presenta precipitaciones superiores a las esperadas para un mes seco.
2024	Normal	Coinciden nuevamente los períodos secos y lluviosos con estabilidad relativa del régimen climático.

2025 Normal El comportamiento climático mantiene condiciones relativamente estables y acordes al patrón histórico del páramo.

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly acorde a los Datos del Satélite Merra 2

Mediante la identificación de años normales, lluviosos, secos y anómalos hay relevancia a ciclos de estabilidad y cambio ligados a alteraciones en la precipitación, temperatura y posibles efectos del Océano Pacífico. En la fase inicial de la serie (1981–1993), el comportamiento de clima es común y se observa años con condiciones normales. Durante este período, hay de 3 a 4 años con un clima estable, interrumpidos o cambiados por años de lluvia entre 1985 y 1990. Esta constancia indica un sistema climático con poca variabilidad entre años y una adecuada coordinación entre las etapas secas y húmedas.

Entre 1994 y 1999, se produjo una transición hacia un ambiente más húmedo, con tres importantes episodios de precipitación registrados (1994, 1995 y 1999). La repetición de estos años lluviosos en lapsos relativamente breves sugiere un incremento temporal en el régimen de lluvias, alcanza su punto máximo en 1999, al ser uno de los años más lluviosos de la serie total.

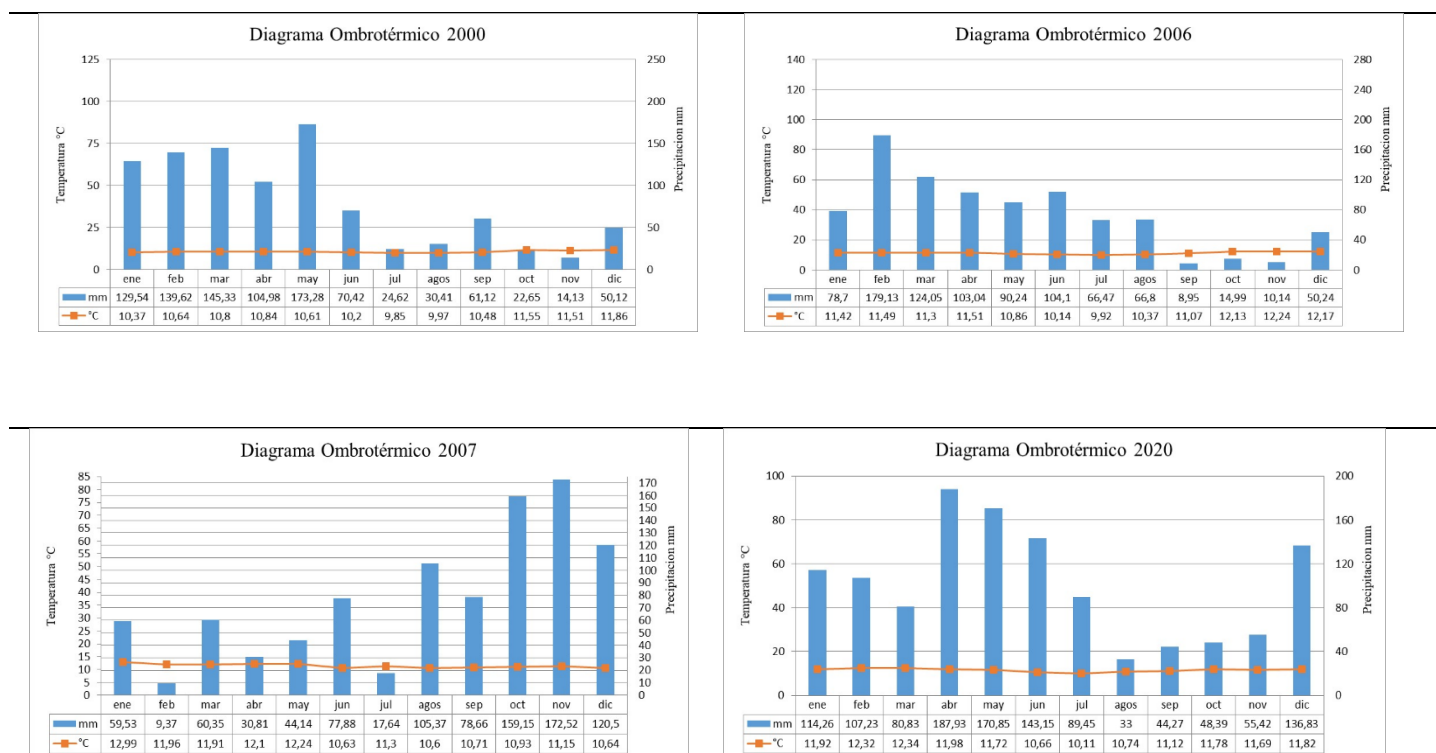
En el año 2000, la dinámica climática cambia totalmente, empieza la aparición de un año seco tras un período de lluvias intensas indica una alteración de la estabilidad de las décadas previas. Entre 2000 y 2008, los eventos extremos aumentan, con años normales, lluviosos, secos y anómalos presentándose en intervalos más cercanos, con un incremento en la variabilidad climática y reducción en la capacidad del sistema para mantener patrones de precipitación estables.

En la década 2009 a 2019, hay retorno de una tendencia hacia condiciones normales; a pesar de las variaciones que se presentan con mayor intensidad en comparación con lo que se observaba antes de 2000. La presencia de lluvia en el 2014 y las variaciones en ciertos

meses de 2018 muestran que los eventos extremos todavía ocurren ya sea de forma menos intensa que en la década anterior.

Entre 2020 y 2025, una nueva etapa de inestabilidad climática está marcada por la aparición de un año anómalo 2020, seguido de un año lluvioso 2021 y posteriormente una serie de años normales. El patrón climático pasa por varios ajustes y oscilaciones, con una frecuencia de eventos extremos más alta que en los primeros años del período analizado.

Figura 7. Resultados ombrotérmicos de sequías y anomalías



Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

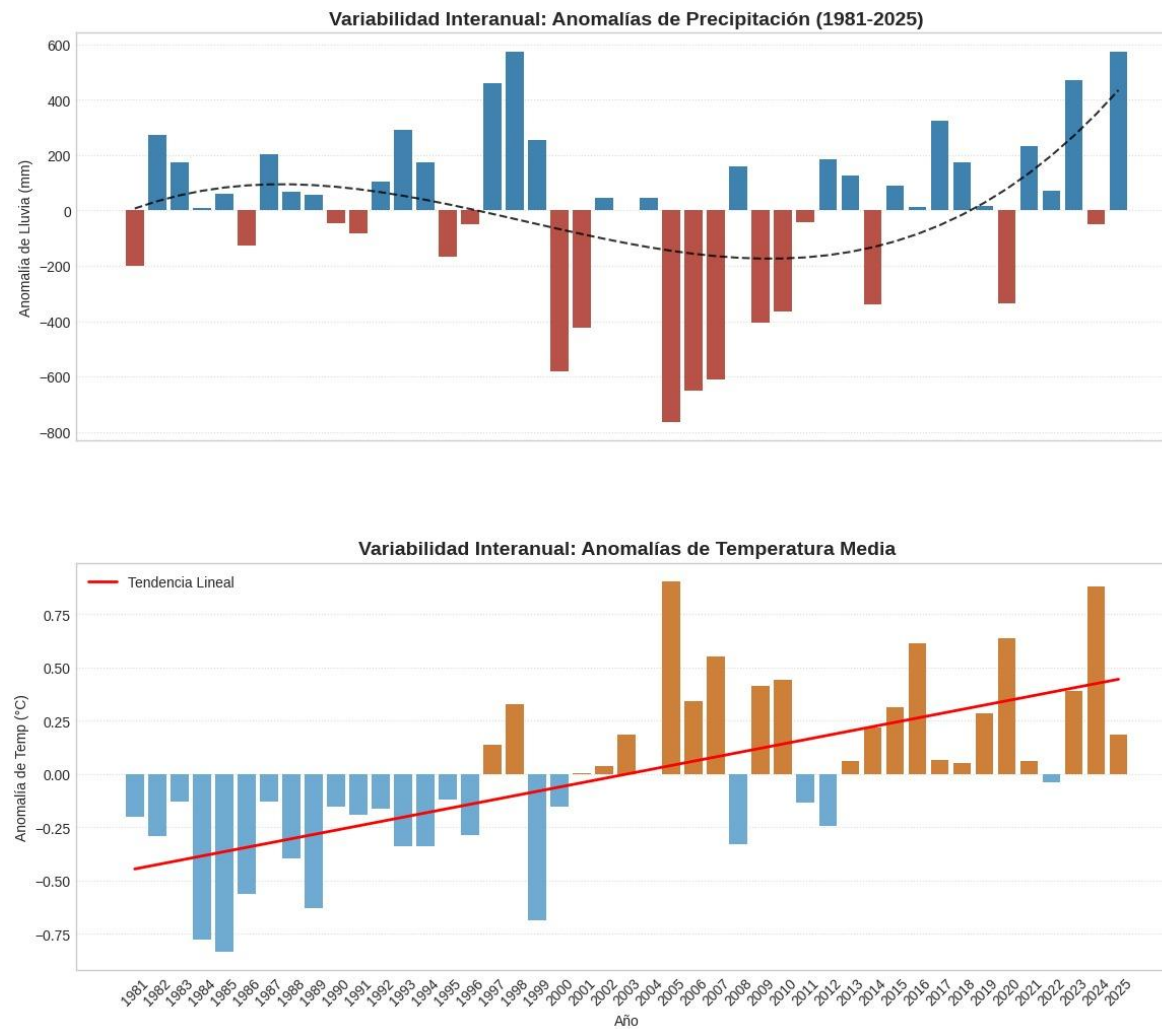
Los gráficos ombrotérmicos de los años 2000, 2006, 2007 y 2020 muestran diferentes patrones hidrometeorológicos asociados a sequías y anomalías en el clima en la comunidad Cruz de Ventanas. En los años 2000 y 2006, se nota una considerable disminución de las lluvias durante varios meses seguidos, lo que provoca escasez de agua y condiciones de sequía meteorológica. En estas ocasiones, las temperaturas se mantienen en niveles relativamente constantes, lo cual indica que la reducción en la disponibilidad de agua se

relacionó sobre todo con el descenso de las precipitaciones y no con cambios térmicos significativos.

En el año 2007 hay un comportamiento inusual por la distribución irregular de las precipitaciones con meses muy bajos seguidos del aumento drástico de lluvia en la segunda parte del año, interrumpiendo la estacionalidad habitual del páramo. El comportamiento indica una alteración en el régimen climático normal y reflejando una mayor variabilidad de las lluvias a lo largo del año.

En el 2020 se refleja una anomalía más compleja por la coexistencia de meses con alta cantidad de lluvia y otros secos dentro del mismo año. Alterando patrones regulares para la pérdida del régimen climático tradicional, donde los meses antes húmedos y secos cambiaron totalmente. Técnicamente, estos hallazgos proponen un aumento en la variabilidad climática en las últimas décadas, con cambios de eventos de sequía hacia situaciones más irregulares de anomalías en el agua y alteraciones en el tiempo de las lluvias, lo que podría influir directamente en la disponibilidad de los recursos hídricos en el páramo.

Figura 8. Variabilidad interanual anomalías de precipitación y temperatura (1981–2025)



Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly mediante el Software Google Colab

La variabilidad anual de las anomalías de lluvia y temperatura muestra cambios progresivos en el patrón climático de la comunidad conocida como Cruz de Ventanas en el intervalo de 1981 a 2025. Se nota un patrón cíclico en las anomalías de precipitación, entre años de escasez de agua y años con lluvias abundantes, aunque la gravedad de estos fenómenos ha aumentado desde finales de los años noventa. Empezamos con 1981 hasta 1998, en donde predominan variaciones moderadas, con períodos equilibrados de lluvias y sequías. Sin embargo, entre 1999 y 2012 la acumulación notable de anomalías negativas, períodos de sequía entre 2000 y 2007, superando la falta de agua en consideración a los registros de décadas previas.

Para el año 2013 se inicia una fase de anomalías positivas más comunes, con lluvias abundantes en 2017, 2023 y 2025. La tendencia muestra un aumento hacia los años más recientes, generando recuperación en las lluvias y una mayor frecuencia de temporadas húmedas en la última década. Las variaciones entre un exceso y escases de precipitaciones demuestran que hay una notable variabilidad en el clima.

En relación a la temperatura promedio las desviaciones presentan un patrón más constante. En las décadas de los 80 y 90, las desviaciones negativas son más frecuentes en comparación con el promedio histórico. Hacia finales de los años noventa, comienza un cambio gradual hacia desviaciones positivas, estableciéndose un incremento constante desde el 2004. Este aumento refleja una tendencia lineal con un incremento progresivo de la temperatura media en la zona, con los picos positivos más altos registrados desde el 2010.

La combinación de ambas variables demuestra que el sistema climático local ha pasado de mantener condiciones estables a pasar a un escenario con mayor variabilidad en el clima con incremento de temperatura, mientras que las precipitaciones exhiben fluctuaciones más pronunciadas entre ciclos secos y húmedos. Este comportamiento se presenta como un

indicador del impacto de afectación en los procesos de cambio climático, la dinámica hídrica y ambiental del páramo de Cruz de Ventanas.

Tabla 22. Análisis por Década: Precipitación (mm)

Década	Media / Promedio	Desviación Estándar	Mínima	Maxima	Coefficiente de Variación %
1980	1605,5	152,18	1346,11	1821,09	9,48
1990	1699,26	245,26	1381,44	2121,8	14,43
2000	1229,59	346,41	783,11	1707	28,17
2010	1565,71	221,75	1181,31	1871,05	14,16
2020	1708,55	338,1	1211,61	2122,23	19,79
Total		260,74			17,206

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly mediante el Software Google Colab

En resumen, se pudo identificar a los siguientes años con mayores precipitaciones o con exceso hídrico crítico: (1998, 2023, 2025).

Aumento promedio por año: +0.38 mm/año

Aumento promedio por década: +3.7755 mm/década

Estado: variabilidad natural ($p > 0.05$), no hay cambio sistemático

Tabla 23. Análisis por Década: Temperatura (°C)

Década	Media / Promedio	Desviación Estándar	Mínima	Maxima	Coefficiente de Variación %
1980	10,44	0,27	10,04	10,75	2,61
1990	10,7	0,28	10,19	11,21	2,58
2000	11,07	0,36	10,55	11,78	3,29
2010	11,05	0,26	10,64	11,49	2,35
2020	11,23	0,35	10,84	11,76	3,15
Total		0,304			2,796

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly mediante el Software Google Colab

En resumen, se pudo identificar a los siguientes años con mayor sequia o con déficit hídrico notable: (2000, 2001, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2014, 2020).

Aumento promedio por año: +0.0202 °C/año

Aumento promedio por década: +0.2025 °C/década

Estado: es tendencia significativa ($p < 0.05$), el cambio presente es real

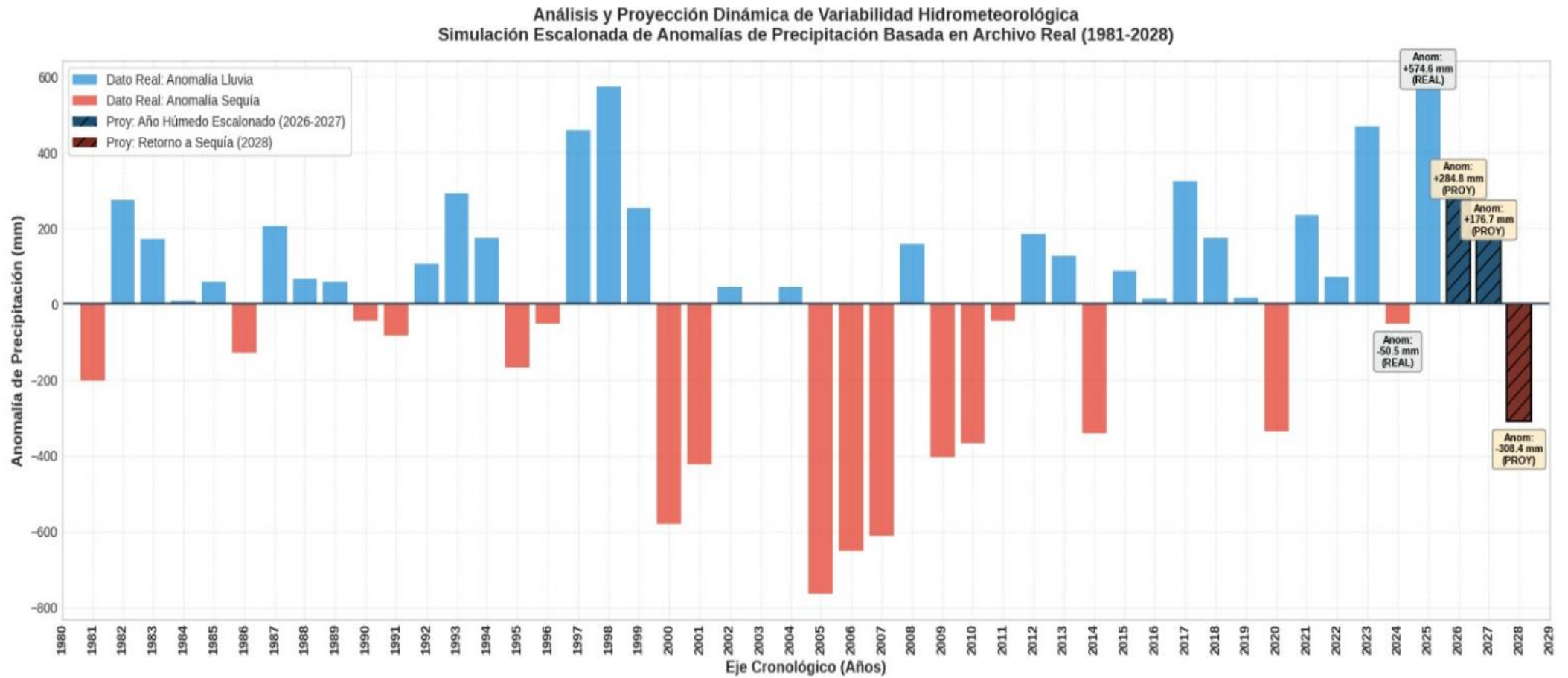
Figura 9. Correlación con el método doble masa (Estación el Corazón)



Nota: Fuente, datos obtenidos por la estación El Corazón 1982-2013

Con registros de la estación meteorológica El Corazón que se encuentra ubicada en las coordenadas X: 715881,722505, Y: 875027,42947, existe un registro de la suma mensual de precipitaciones desde el año 1982 al 2013. Estos datos son consistentes para poder tomar como datos bases al producto generados por el Satélite MERRA 2 al mantener una buena consistencia y reportan similitud con la estación terrestre física INAMHI (Instituto Nacional Metrológico e Hidrológico) 123 ubicada en El Corazón, reportando valores de consistencia permitiendo trabajar en la investigación la utilización los datos satelitales para realizar proyecciones de los modelos climáticos.

Figura 10. Variabilidad hidrometeorológica con proyección dinámica (1981–2028)



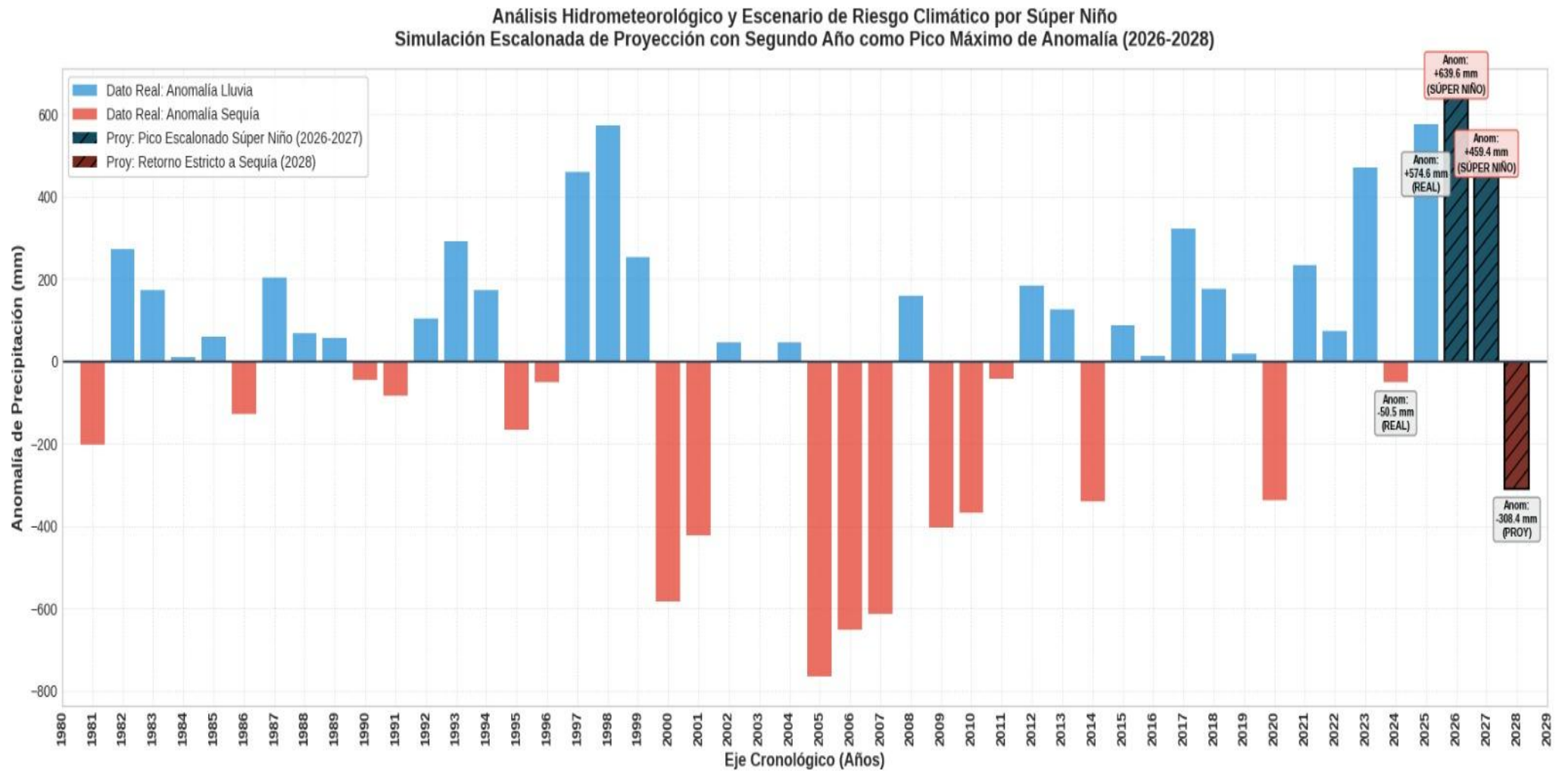
Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly mediante el Software Google Colab

Las irregularidades en las lluvias muestran patrones de variación en el clima en donde se alternan entre períodos de abundancia y escasez de agua. Con la década de los ochenta y noventa, se observan anomalías positivas, con ciclos de entre tres y cinco años en los que las condiciones se aproximan a lo que se considera normal. La llegada de un tiempo seco en el año 2000 se extiende y llega a su nivel más alto entre los años 2005 y 2007, período en el que se registra las desviaciones negativas más severas. Durante los años 2008 y 2015, se observa una fase de cambio donde los años de lluvia y sequía ocurren sin un patrón definido. No obstante, a partir del 2016, comienza una nueva etapa húmeda, aumentando la aparición de anomalías y un incremento progresivo de las lluvias. Este patrón alcanza un estado de continuidad en los años 2023 y 2025, constituyendo uno de los períodos más lluviosos documentados en la serie.

La recurrencia climática, los datos reflejan que los fenómenos extremos tienden a ocurrir aproximadamente cada 15 a 20 años. Las barras o picos de precipitaciones observados en 1997 y 1998 son similares a los que se registran en 2023 y 2025, y por la parte de las sequías más severas entre 2000 y 2007 presentan una recurrencia menos intensa entre 2019 y 2024. Estos datos sugieren que hay ciclos climáticos alternados donde, tras varios años de abundancia, el sistema vuelve a retornar de forma progresiva a condiciones de escasez.

Con todo lo mencionado la previsión para el período 2026 y 2027 siguen este mismo patrón con la fase húmeda comenzada en la década de 2020; no obstante, para 2028 se anticipa una anomalía negativa significativa, lo que sugiere un posible regreso a un ciclo seco. Este patrón reafirma que el régimen pluvial de la región responde a ciclos oscilatorios a mediano plazo, en los cuales las fases de lluvias y sequías se repiten cíclicamente, aunque con fluctuaciones de intensidad cada vez más variables a causa del cambio climático.

Figura 11. Escenario de riesgo climático por Súper Niño, análisis hidrometeorológico (1981–2028)



Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly mediante el Software Google Colab

El estudio histórico de las variaciones en las lluvias sugiere que el clima en Cruz de Ventanas muestra patrones alternantes de lluvias abundantes y escasas. Se observan momentos húmedos importantes en los años 1982-1983, 1997-1999, 2017-2018 y 2021-2025, mientras que las sequías más graves se registran entre 2000-2001 y, de manera notable, entre 2005-2010. Estos patrones indican que los eventos extremos tienden a agruparse durante varias temporadas consecutivas antes de volver gradualmente a condiciones contrarias.

La simulación de un escenario vinculado a un evento de Súper Niño anticipa una intensificación de la fase húmeda que se observa. Se espera que en los años 2026 y 2027 ocurran anomalías positivas estimadas en aproximadamente +459,4 mm y +639,6 mm, superando los récords históricos fijados en 1998 y 2025. Esto sugiere una potenciación de los ciclos húmedos previamente establecidos, donde tras un período de aumento gradual en las precipitaciones se da un pico extremo de exceso hídrico.

Al reconocer la recurrencia de los patrones, se nota que los máximos eventos de lluvias de 1982-1983 y 1997-1998 tienden a repetirse alrededor de 20 a 25 años después, con nuevos incidentes en 2023-2027. Esta repetición sugiere la presencia de ciclos climáticos de mediano plazo, influenciados por fenómenos oceánicos y atmosféricos como El Niño, aunque en la actualidad con intensidades más altas debido a la variabilidad climática observada en las últimas décadas.

Estas proyecciones también indican que, tras dos años consecutivos de anomalías positivas extremas, habrá un regreso brusco a condiciones secas para 2028, con una anomalía aproximada de -308,4 mm. El comportamiento replica la secuencia histórica observada después de lluvias intensa, es decir abundancia de agua son seguidas por períodos de escasez de precipitaciones. En un enfoque hidrometeorológico, este patrón sugiere un aumento en la inestabilidad del clima, con transiciones más rápidas entre condiciones húmedas y secas.

4.1.2.1.Escenarios a futuro

Tabla 24. Fuente 1 (Delta de precipitación ΔP)

Área de captación 1	Precipitación_Histórica (1970_2000)	Precipitación_Futura (2021_2040)
Enero		51
Febrero		98
Marzo		93
Abril		103
Mayo		53
Junio		40
Julio		26
Agosto		22
Septiembre		42
Octubre		72
Noviembre		77
Diciembre		51
Total anual	687	728

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

$$\Delta P = \frac{P_{futura}}{P_{historica}}$$

$$\Delta P = 1,059679767$$

Tabla 25. Fuente 2 (Delta de precipitación ΔP)

Área de captación 2	Precipitación_Histórica		Precipitación_Futura			
	687	Enero	51	51	51	
	693	Febrero	98	97	96	
	675	Marzo	93	93	92	
		Abril	103	104	100	
		Mayo	53	53	52	
		Junio	40	41	37	
		Julio	26	27	25	
		Agosto	22	23	21	
		Septiembre	42	43	41	
		Octubre	72	72	71	
		Noviembre	77	77	77	
		Diciembre	51	53	50	
Total anual	685	Total	728	734	713	725

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

$$\Delta P = 1,05839416$$

Tabla 26. Fuente 3 (Delta de precipitación ΔP)

Área de captación 3	Precipitación_ Histórica (1970_2000)	Precipitación Futura (2021_2040)
Enero		56
Febrero		99
Marzo		96
Abril		106
Mayo		55
Junio		40
Julio		26
Agosto		23
Septiembre		43
Octubre		74
Noviembre		78
Diciembre		56
Total anual	708	752

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

$$\Delta P = 1,062146893$$

Tabla 27. Fuente 4 (Delta de precipitación ΔP)

Área de captación 4	Precipitación_Histórica (1970_2000)		Precipitación_Fu tura (2021_2040)	
	708	Enero	56	51
	687	Febrero	99	98
		Marzo	96	93
		Abril	106	103
		Mayo	55	53
		Junio	40	40
		Julio	26	26
		Agosto	23	22
		Septiembre	43	42
		Octubre	74	72
		Noviembre	78	77
		Diciembre	56	51
Total anual	697,5	Total	752	728
				740

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

$$\Delta P = 1,0609319$$

Tabla 28. Transformación de m3 a l/s

Registro de Caudal (M3)			Registro de Caudal (L/S)		
Registro 1	Registro 2	Registro 3	Registro 1	Registro 2	Registro 3
0,04	0,18	0,26	40	180	260
0,53	0,88	1,6	530	880	1600
0,79	1,38	2,06	790	1380	2060
0,000075	0,00062	0,0003	0,075	0,62	0,3

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

Tabla 29. Cálculo del caudal

Cuencas	Caudal Futuro (L/S)					Registro De Caudal (L/S)		
	Q_actual	ΔP	$1 - \Delta ET$	Q_futuro (L/s)	Q_futuro (m3)	Registro 1	Registro 2	Registro 3
Fuente 1	260	1,059679767	0,96	264,50	0,26450	40	180	260
Fuente 2	1600	1,058394161	0,96	1625,69	1,62569	530	880	1600
Fuente 3	2060	1,062146893	0,96	2100,50	2,10050	790	1380	2060
Fuente 4	0,3	1,0609319	0,96	0,31	0,00031	0,075	0,62	0,3

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

Tabla 30. Relación del caudal registrado y el caudal futuro

Registro de caudal (L/s)				
Cuencas	Registro 1	Registro 2	Registro 3	Q_futuro (L/s)
Fuente 1	40	180	260	264,50
Fuente 2	530	880	1600	1625,69
Fuente 3	790	1380	2060	2100,50
Fuente 4	0,075	0,62	0,3	0,31
Registro de caudal (m3)				
Cuencas	Registro 1	Registro 2	Registro 3	Q_futuro (m3)
Fuente 1	0,04	0,18	0,26	0,26450
Fuente 2	0,53	0,88	1,6	1,62569
Fuente 3	0,79	1,38	2,06	2,10050
Fuente 4	0,000075	0,00062	0,0003	0,00031

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

Con los resultados obtenidos de la precipitación histórica y futura de cada área de captación realizamos el Delta de Precipitación “ ΔP ”, con ayuda de los resultados aplicamos la formula Caudal futuro “ Q_{futuro} ” para realizar la comparación entre los caudales registrados de las distintas fuentes y el caudal futuro.

Como resultado final se observar que en cada una de las fuentes desde el ultimo registro de la salida 4, tiene un valor de crecimiento de entre 1,61 a 1,97 es decir alcanza un valor de alto aumento de aproximadamente 36 m3.

4.1.3. Resultado Objetivo 3

Diagnóstico para la propuesta:

Con los resultados de los objetivos anteriores se logró identificar las condiciones actuales de cantidad y calidad del agua, como también, el comportamiento climático histórico de la zona de producción hídrica Cruz de Ventanas. Con toda la información se elaboró una propuesta de conservación encaminada a fortalecer la protección del recurso hídrico, poder reducir los riesgos asociados a la variabilidad climática y prevenir procesos de contaminación que puedan afectar la sostenibilidad de las fuentes de agua en el largo plazo.

Cantidad de agua:

Los resultados obtenidos en la evaluación de la cantidad de agua evidenciaron que las fuentes hídricas de la comunidad Cruz de Ventanas presentaron variaciones en su volumen y caudal entre enero y marzo de 2026. Sus registros mostraron aumentos notables en el volumen de agua retenida y en la rapidez de circulación, vinculados a la recuperación de agua en función de las condiciones meteorológicas durante el período analizado. Los hallazgos indican que la accesibilidad al recurso hídrico está conectada con el patrón de las lluvias, lo que implica que cualquier cambio en los regímenes de precipitación puede afectar directamente el suministro de agua en la región.

Calidad de agua

En lo que respecta a la calidad del agua, los estudios fisicoquímicos y microbiológicos revelan que las fuentes analizadas mantienen condiciones adecuadas para la conservación del recurso hídrico. La inexistencia de coliformes fecales en todos los lugares de muestreo sugiere un bajo nivel de contaminación microbiológica y un estado sanitario aceptable de las fuentes. No obstante, ciertos parámetros de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO₅) mostraron niveles que requieren

monitoreo continuo, ya que podrían señalar la presencia de materia orgánica y posibles alteraciones en la calidad de agua en el futuro.

Comportamiento climático

En el análisis climático histórico se identificaron la presencia de períodos secos, normales y lluviosos durante el período 1981–2025, justifica una marcada variabilidad climática en la zona de estudio. Las anomalías de precipitación muestran una alternancia entre años con déficit hídrico y años con exceso de lluvias, confirmando la existencia de fluctuaciones climáticas que influyen sobre la disponibilidad del recurso hídrico. Asimismo, las proyecciones realizadas para los años 2026–2028 sugieren la posible ocurrencia de nuevos períodos húmedos y secos, situación que resalta la necesidad de implementar medidas de conservación, monitoreo y gestión sostenible para garantizar la protección de las fuentes de agua y la resiliencia del ecosistema de páramo frente a futuros cambios climáticos.

Tabla 31. *Matriz de Selección de Variables Críticas para la Propuesta de Conservación*

Componente	Variable crítica	Situación encontrada	Nivel de importancia	Tipo de medida	Medida
Recurso hídrico	Cantidad de agua	Variaciones en volumen y caudal entre períodos de monitoreo	Alta	Adaptativa	La disponibilidad de agua depende directamente de las condiciones climáticas y del comportamiento de las precipitaciones, realizando monitoreos constantes o mensuales.
Recurso hídrico	Calidad de agua	Dos fuentes presentan calidad media y dos calidades malas según el ICA-NSF	Alta	Preventiva	La calidad del agua requiere monitoreo y medidas de protección para evitar un deterioro progresivo, mediante campañas de concientización a la población.
Variabilidad climática	Anomalías climáticas	Presencia de anomalías positivas y negativas de precipitación y temperatura	Alta	Correctiva	Generan períodos de déficit o exceso hídrico que afectan el comportamiento de las fuentes de agua, a partir de la reforestación de especies nativas que ayuden a mantener el recurso hídrico.

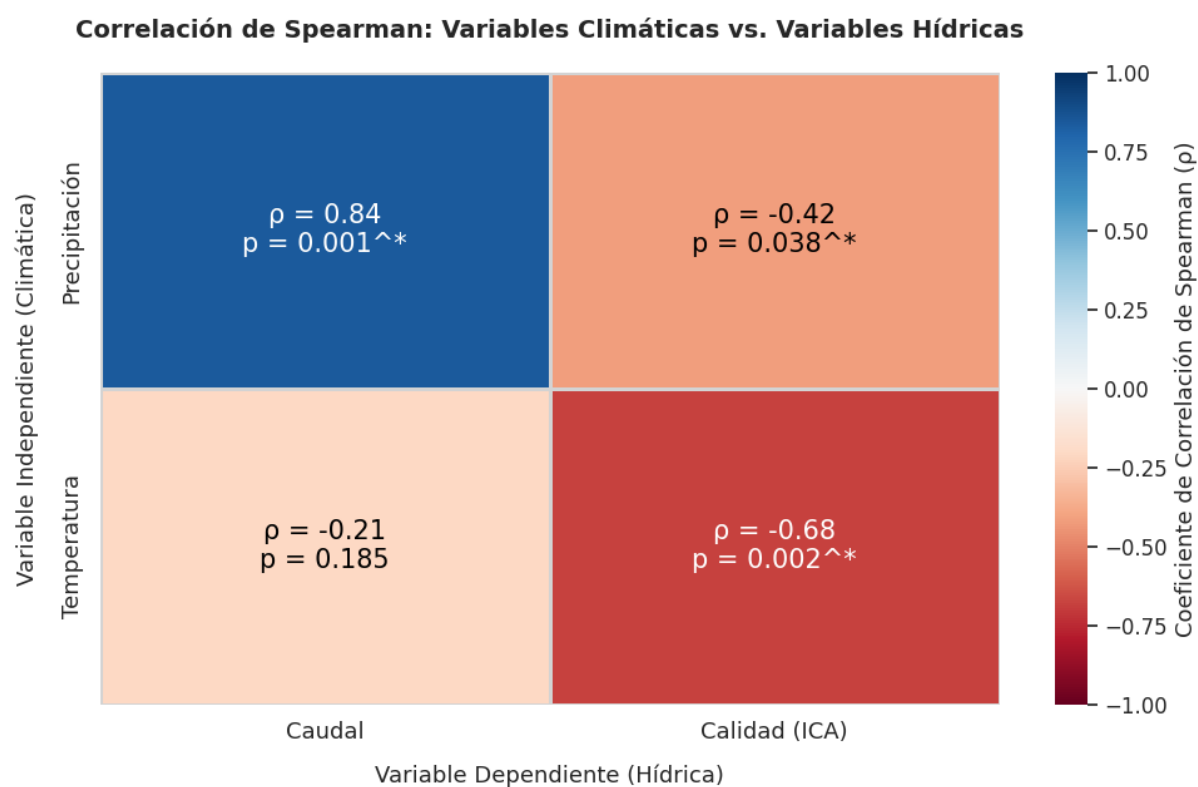
Ecosistema páramo	Cobertura vegetal	Riesgo de afectación por actividades antrópicas y cambios ambientales	Alta	Correctiva	La vegetación cumple una función esencial en la captación, almacenamiento y regulación del agua, tener un control con la comunidad en el pastoreo y la quema de pastizales.
Gestión ambiental	Monitoreo hídrico	No existe un sistema permanente de seguimiento	Alta	Adaptativa	Limita la detección temprana de cambios en cantidad y calidad del recurso hídrico, implementar una estación meteorológica.
Gestión ambiental	Educación ambiental	Necesidad de fortalecer la participación comunitaria	Media-Alta	Preventiva	La conservación del páramo depende del compromiso y conocimiento de los usuarios del recurso, mediante charlas y capacitaciones.
Gobernanza	Normativa comunitaria	Ausencia de mecanismos específicos de control y sanción	Alta	Correctiva	Se requiere regular actividades que puedan generar contaminación o degradación ambiental, aplicar las respectivas sanciones.

Nota: Elaborado por Nicolalde Jhon y Paredes Nelly

4.2.Comprobación de hipótesis

A través del análisis de la matriz de correlación de Spearman, se muestra que tres de los cuatro cruces entre las variables relacionadas con el agua y el clima presentaron un nivel de significancia bilateral que es menor que el margen de error permitido ($p < 0.05$). Por lo tanto, se decide rechazar la Hipótesis Nula (H_0) y aceptar la Hipótesis Alternativa (H_1), concluyendo con un 95% de confianza que la variabilidad climática afecta de manera significativa el comportamiento, la disponibilidad y las condiciones de salud del recurso hídrico en la zona de producción de la comunidad Cruz de Ventanas.

Figura 12.*Correlación de Spearman*



4.3.Discusión

Con la información del primer documento de los autores Buytaert, Wouter; Céleri, Rolando; De Bièvre, Bert; Cisneros, Felipe; Wyseure, Guido; Deckers, Jozef; Hofstede, Roberty en comparación a la documentación con los hallazgos de Cruz de Ventanas para el período histórico de 1981 a 2025, se respalda completamente la afirmación de los autores sobre el incremento continuo de la temperatura y la disminución de la resiliencia del ecosistema frente a la variabilidad climática en las últimas décadas. Sin embargo, surge un punto crucial de discusión: mientras Buytaert y sus colegas (2006) centran su análisis casi exclusivamente en la física del suelo y el volumen de los caudales, los resultados de este estudio indican que el impacto del clima transforma radicalmente el Índice de Calidad del Agua (ICA), y existe una relación negativa donde el aumento de temperatura afecta negativamente los atributos químicos y biológicos de este recurso. Esto brinda la oportunidad de debatir y complementar la obra original, conforma que el enfoque tradicional de gestión de cuencas en los Andes necesita evolucionar desde un análisis meramente hidrológico hacia un modelo ecohidrológico más completo, ya que la rapidez actual del cambio climático no solo disminuye la disponibilidad de agua, sino que también pone en riesgo su idoneidad para el consumo y el equilibrio ecológico (Buytaert, et al., 2006).

Del segundo documento de los autores Murrillo, Peralta, Leòn, Guzmán, artículo que se consolida una discusión profunda sobre la vulnerabilidad de las fuentes hídricas frente al desarrollo territorial y los cambios ambientales globales. La variabilidad de los caudales se alinea con el comportamiento observado en el artículo, muestra que la disponibilidad de agua depende críticamente de la conservación de los suelos altos frente a las variaciones climáticas temporales. Asimismo, la presencia de contaminantes críticos y metales pesados en el estudio regional actúa como un espejo de la degradación evaluada, evidenciando que fenómenos como el aumento paulatino de la temperatura media potencian los efectos negativos de las

presiones antrópicas locales. Esta relación se avala con los indicadores biológicos, que evidencian que el deterioro ecológico es persistente y generalizado. En resumen, subraya la necesidad de implementar la gestión de riesgos para crear zonas de resguardo ambiental y un ordenamiento de territorio estricto, debido a que la falta de regulación pone en peligro de manera irreversible la seguridad del recurso hídrico en la zona (Peña Murillo, Peralta Peralta, León Ruiz, & Guzmán Guaraca, 2023).

El tercer documento con los autores Guamán Chalco y Gladys Verónica examina como las variaciones climáticas alteran las líneas de base de la calidad del agua, lo que permite comparar las tendencias de los datos en Cruz de Ventanas con los patrones descritos por el autor. Mientras que la investigación en Quimsacocha muestra que el incremento de la temperatura y los cambios en el flujo alteran la cantidad de iones y diluyen o concentran elementos específicos, para analizar si las fluctuaciones de registro histórico de ICA siguen esa misma dirección provocada por el clima o si se diferencian a causa de características locales. Además, la técnica del autor para manejar datos que están por debajo del límite de detección utilizando el criterio de la EPA ($0,5 * LC$) y la categorización por tipos de flujo proporciona una base matemática robusta para evaluar la precisión del análisis de datos frente a los cambios de temperatura observados entre 1981 y 2025 (Guamán Chalco, 2019).

El cuarto documento con los autores Llambí, Luis Daniel, Soto Alejandra, Cèlleri Rolando De Bievre, Bert Ochoa Boris, Borja Pablo; la conservación de las cuencas aguas arriba y la resiliencia de la infraestructura y el suministro aguas abajo, si bien el artículo de FLACSO muestra cuantitativamente que la degradación del suelo andino duplica su densidad aparente y desestabiliza el régimen hidrológico, nuestra investigación contrasta y aplica estos efectos al análisis de riesgos socioambientales específicos y al comportamiento histórico de variables locales (por ejemplo, fluctuaciones en el índice de calidad del agua o cambios en el flujo base). Los debates primarios que surgen se centran en la necesidad de avanzar desde un

enfoque estructural a la ingeniería hidráulica hacia una gestión integrada que incorpore soluciones basadas en la naturaleza y monitoreo hidrológico participativo. Un análisis de la intersección de estas variables revela que la planificación espacial no puede ser efectiva sin una comprensión en la física del suelo que rige la retención de agua, lo que indica que la vulnerabilidad de las poblaciones se deriva fundamentalmente de un descenso de la capacidad de conservación dentro de las tierras altas (Llambí, et al., 2012).

Por último, el quinto documento de los autores Célleri, Rolando, Feyen, Jan; aporta datos críticos sobre cómo los cambios de uso del suelo modifican drásticamente el balance hídrico y aumentan el nivel de riesgo en el territorio. Destaca el hecho de que actividades como la agricultura y el pastoreo intensivo destruyen la estructura del suelo, que provoca una reducción de hasta el 50% en el caudal base de los arroyos y un aumento del 20% en el caudal máximo, lo que corresponde a una pérdida del 40% de la capacidad reguladora natural de la cuenca y una mayor vulnerabilidad a la sequía y las inundaciones. Un tema clave a discutir es que, a diferencia de las zonas de media montaña, que tienen cierta resiliencia, la degradación del suelo de páramo mediante quema y compactación se considera un proceso irreversible, ya que la pérdida de materia orgánica resulta en un rechazo constante de agua. Finalmente, se puede decir que el uso de monocultivos de pino como medida de conservación, muestra que estas plantaciones reducen el carbono orgánico del suelo y reducen drásticamente el rendimiento anual de agua entre un 50% y un 66%, un hecho clave que desafía los programas tradicionales de replantación en los planes de manejo de cuencas altas (Célleri & Feyen, 2009).

CAPÍTULO V. PROPUESTA

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos mostraron que las fuentes de agua en la comunidad de Cruz de Ventanas presentan diferencias en términos de facilidad de acceso, evidenciado por las variaciones visibles en su superficie, volumen y caudal durante las evaluaciones llevadas a cabo desde diciembre de 2025 hasta marzo de 2026. En cuanto a la condición del agua, el uso del índice ICA-NSF situó a las fuentes 1 y 2 en un nivel medio de calidad, mientras que las fuentes 3 y 4 fueron consideradas de calidad baja. Aunque no se encontraron coliformes fecales en ninguna de las fuentes, factores como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) influyeron de forma negativa en las calificaciones finales, enfatiza la necesidad de implementar acciones de vigilancia y conservación para poder mantener y mejorar las condiciones de este recurso hídrico.
- Mediante el análisis del historial climático desde 1981 hasta 2025 se identificaron incrementos paulatinos en la temperatura media anual y una considerable variabilidad en las lluvias. Con cada resultado se mostraron la continua aparición de años secos, normales, lluviosos y excepcionales, y fluctuaciones climáticas que impactan directamente la disponibilidad de agua en el páramo. Las irregularidades de las variables bioclimáticas como las precipitaciones y temperaturas revelaron que el sistema climático experimenta alternancias entre déficit y exceso de agua, y al mismo tiempo las proyecciones climáticas sugieren la posible aparición de nuevos fenómenos extremos en el futuro cercano. Con estos datos se confirma que la variabilidad climática es un elemento fundamental en el comportamiento de las fuentes de agua de la comunidad.

- A partir de los resultados sobre cantidad, calidad y condiciones climáticas, se creó una propuesta destinada a mejorar la protección del área de producción de agua en Cruz de Ventanas. La propuesta subraya la importancia de llevar a cabo un monitoreo continuo de los recursos hídricos, preservar la vegetación del páramo, fomentar la educación ambiental en la comunidad, establecer normativas para prevenir actividades que puedan perjudicar la calidad y accesibilidad de este recurso hídrico. Cada una de estas estrategias tienen como finalidad aumentar la capacidad de la región para comprender con la variabilidad climática y garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que el páramo brinda a la comunidad.

RECOMENDACIONES

- Las fuentes de agua en la comunidad de Cruz de Ventanas presentan diferencias en términos de facilidad de acceso, evidenciado por las variaciones visibles en su superficie, volumen y caudal durante las evaluaciones llevadas a cabo desde diciembre de 2025 hasta marzo de 2026. En cuanto al estado del agua, se utilice el índice ICA-NSF, las fuentes 1 y 2 se ubicaron en el nivel de calidad media, mientras que las fuentes 3 y 4 se consideraron bajas. Si bien no se detectaron coliformes fecales en ninguna de las fuentes, factores como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) afectaron negativamente las evaluaciones finales, destacando la necesidad urgente de medidas de monitoreo y conservación para mantener y mejorar las condiciones de este recurso hídrico.
- Con los datos climáticos desde 1981 hasta 2025 reveló un aumento constante en las temperaturas medias anuales junto con fluctuaciones significativas en las precipitaciones. Los resultados demostraron la alternación continua de años secos, normales, lluviosos, anómalos, junto con fluctuaciones climáticas que afectan directamente a la disponibilidad de agua en el páramo. Las irregularidades observadas

en las precipitaciones y la temperatura indican que el sistema climático sufre fluctuaciones entre los déficits de agua y los excedentes, mientras que las proyecciones climáticas sugieren que pueden surgir nuevos fenómenos extremos en un futuro próximo.

Se debe ampliar mayor cantidad de salidas de campo para este tipo de recolección de información ya que requiere el monitoreo constante para la toma de datos acorde a diferentes niveles de precipitación y temperatura que influyen en la cantidad de agua.

- Realizar un seguimiento constante de los recursos hídricos, proteger la flora del páramo, promover la conciencia ambiental entre los habitantes y crear regulaciones para evitar acciones puedan afectar la calidad y disponibilidad de este recurso hídrico. Estas acciones buscan mejorar la aptitud de la región para enfrentar la fluctuación del clima y asegurar la continuidad de los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo a la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Retrieved from <https://www.standardmethods.org>
- Bistua. (2010). Sistema Difuso Tipo Mamdani para la Determinación Genérica de la Calidad del Agua. Mandani Fuzzy System for General Water Quality Determination. 17.
- Buytaert, W. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. 20.
- Buytaert, W., Cèlleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 53-72.
- Carril, A., Flombaum, P., & Menéndez, C. (2023). Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/669/66976167001/html/>
- Cèlleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development*, 350-355.
- CienciaUAT. (2007). Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina Hydrological model, water quality and climate change: support for the integral management of the Soto la Marina river watershed. 23.
- COA. (2017, Diciembre 8). *Código Orgánico del Ambiente*. Retrieved from <https://sustanciasyresiduos.ambiente.gob.ec/producto/codigo-organico-del-ambiente/>
- Constitución RE. (2008). Retrieved from Constitución de la República del Ecuador. Quito: Tribunal Constitucional del Ecuador. Registro oficial Nro, 449, 79-93.:
- https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Cordero, G. D. (2012). El Cambio Climático. 14.

- EP-EMAPAG, E. P. (2025). *¿Quiénes somos?* Retrieved from EP-EMAPAG:
<https://emapag.gob.ec/quienes-somos/>
- Eurofins. (2015). Retrieved from <https://eurofins-agro.com.ec/assets/anexo-1-1.pdf>
- GADPB. (2026, 03 03). Retrieved from https://www.bolivar.gob.ec/ova_doc/ordenanza-que-crea-el-area-de-conservacion-y-uso-sustentable-acus-bosque-nublado-estribaciones-de-montana/
- GADPR Simiátug. (2021). Retrieved from <https://www.gadpsimiatug.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/PDOT-SIMAITUG-2021-2023.pdf>
- GADPR Simiátug. (2024, Octubre). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2021–2023*. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Simiátug.
Retrieved from <https://www.gadpsimiatug.gob.ec/wp-content/uploads/2022/04/PDOT-SIMAITUG-2021-2023.pdf>
- Gobierno del Ecuador. (2022, Marzo 22). *Ecuador promueve la democratización y conservación del agua*. Retrieved from Presidencia de la República del Ecuador:
<https://www.presidencia.gob.ec/ecuador-promueve-la-democratizacion-y-conservacion-del-agua/>
- Guamán Chalco, G. V. (2019). *Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en una zona de páramo húmedo al sur del Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Guamán, G. (2019, 04 13). *UCuenca*. Retrieved from
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/f87d05fe-3a7f-4503-86c3-25a9fe6bea8b>
- Hidricos, L. O. (2014). Retrieved from Ley orgánica de recursos hidricos usos y aprovechamiento del agua.: <https://www.emmaicj.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/ANEXO-LITERAL-A2LEY-DE-AGUAS.pdf>

- ISOIL Industria Spa. (2025, 02 28). Retrieved from ISOIL: <https://www.isoil.com/category-integrated-water-cycle/calculating-the-flow-rate-the-complete-guide/>
- Jiang J, S. A. (2014). *A global assessment of climate–water quality relationships in large rivers: An elasticity perspective*. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713010309?utm_source=chatgpt.com
- Lapo C, V. E. (2025). Evaluación de la calidad del agua en ecosistemas altoandinos: un análisis comparativo de índices basados en macroinvertebrados. 16.
- Llambì, L., Soto, A., Cèlleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Quito: Proyecto Páramo Andino.
- MAE. (2003). *Anexo I. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Libro VI del TULSMA)*. Quito: Efficacitas. Retrieved from https://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Anexo%201.pdf
- MAE, M. d. (2014, 09 25). *MAE inspeccionó dos sistemas de agua potable en Bolívar*. Retrieved from Ministerio del Ambiente del Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/mae-inspecciono-dos-sistemas-de-agua-potable-en-bolivar/>
- Mena, P., Hofstede, R., & Suárez, E. (2023). *Los páramos del Ecuador Pasado, presente y futuro*. Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ. Retrieved from <https://libros.usfq.edu.ec/index.php/usfqpress/catalog/book/32>
- Murrillo, R. F., Peralta, M. J., Leòn, J., & Guzmán, A. (2023). Determinación del caudal y calidad de agua mediante bioindicadores en los páramos de la Comunidad el Calvario en el Cantón Tisaleó. *Polo del Conocimiento*, 1418-1438.
- Novotny, V. (2005). *Development of Water Quality Management Strategy*. Ámsterdam: Elsevier B.V. Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S01675648058002>

92

Ochoa A, R. M. (2009). *UCuenca*. Retrieved from

https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/e33816ed-ce26-44fd-9c82-ec9d9791718d?utm_source=chatgpt.com

ONU, O. d. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición*

especial. Por un plan de rescate para las personas y el planeta. Nueva York:

Organización de las Naciones Unidas. Retrieved from

https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf

QUORA. (2020). *¿Cuál es la fórmula del caudal?* Retrieved from

<https://www.quora.com/What-is-the-formula-of-flow-rate>

Reddy, K. R. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Sadoth Bravo Rodriguez. (2022, 03 21). Análisis Multitemporal Índice Calidad Del Agua (ICA) Cuenca Río Portoviejo. Retrieved from

<https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/es/article/download/385/525/1891?inline=1>

UICN. (2003). *Atlas mundial de los páramos*. UICN / Global Peatland Initiative / Ecociencia.

UNFCCC. (2007). *Materiales de formación del CGE: Evaluación de vulnerabilidad y*

adaptación. Capítulo 8: Escenarios de cambio climático. Retrieved from UNFCCC:

https://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/training_material/methodological_documents/application/pdf/ch4_climate-change-scenarios-presentation.pdf

Vera C, C. J. (2020). El Ciclo del Agua. 16.

Vuille, M. (2013). El Cambio Climático y los Recursos Hídricos en los Andes Tropicales .

35.

World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: World

Health Organization. Retrieved from

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva: World

Health Organization. Retrieved from

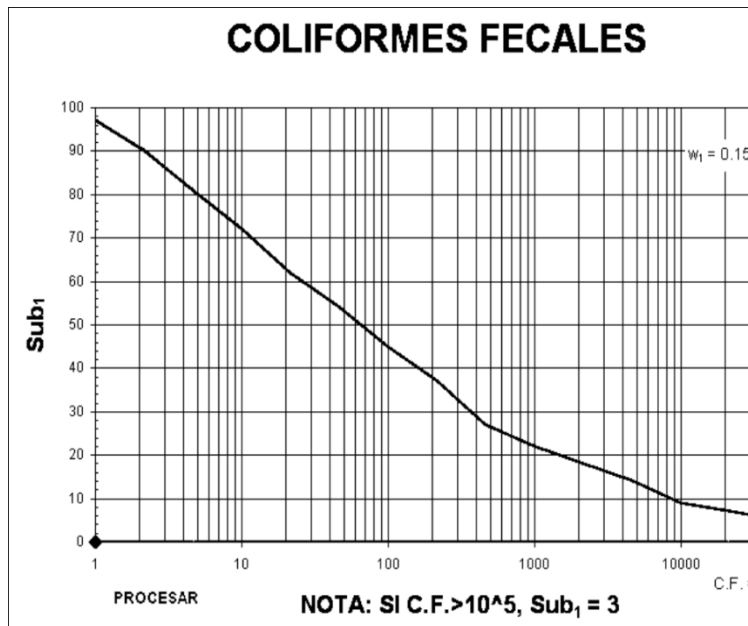
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

ANEXOS

• Anexo N.º 1 Resultados Objetivo 1

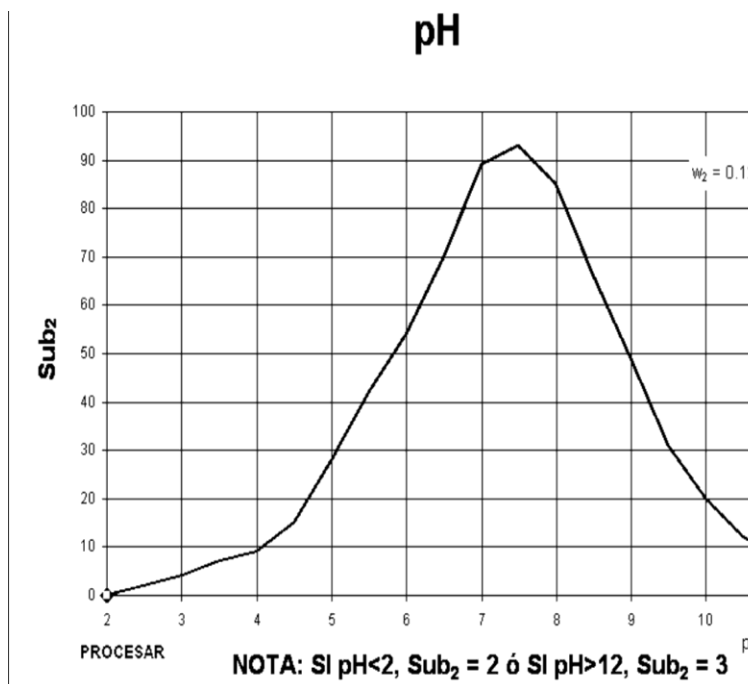
ICA - curvas preestablecidas por los investigadores de la metodología

COLIFORMES FECALES/TOTALES



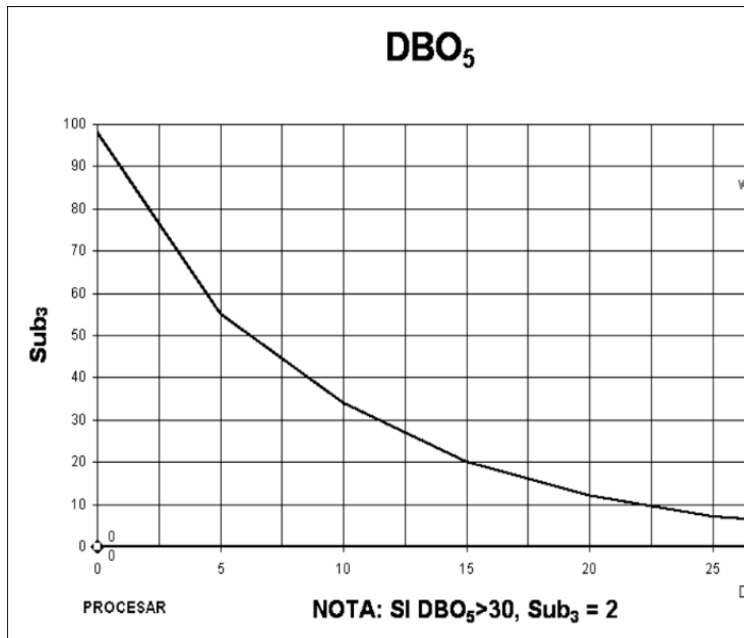
COLIFORMES FECALES/TOTALES		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	0	0
Fuente 2	0	0
Fuente 3	0	0
Fuente 4	0	0

POTENCIAL HIDRÓGENO



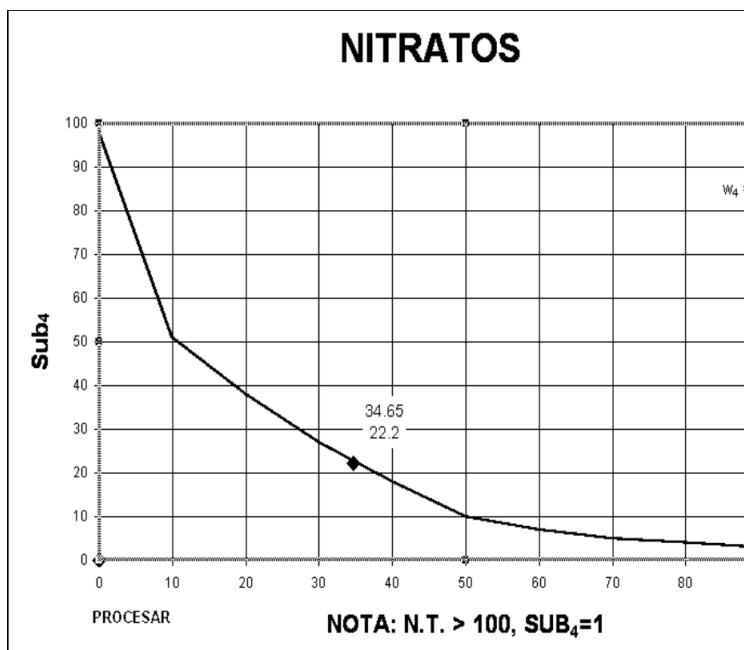
POTENCIAL HIDRÓGENO		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	6,35	65
Fuente 2	6,8	82
Fuente 3	6,76	79
Fuente 4	7,5	92

DBO5



DBO5		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	2,3	78
Fuente 2	0,1	97
Fuente 3	19	14
Fuente 4	12	29

NITRATOS

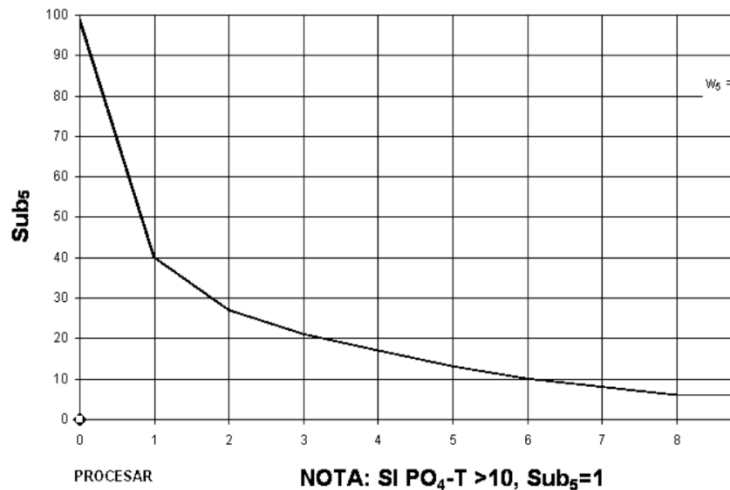


NITRATOS		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	0,7	94
Fuente 2	0	99
Fuente 3	2,1	87
Fuente 4	0,6	93

FOSFATOS

FOSFATOS		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	34	1
Fuente 2	14,7	1
Fuente 3	11,4	1
Fuente 4	32,8	1

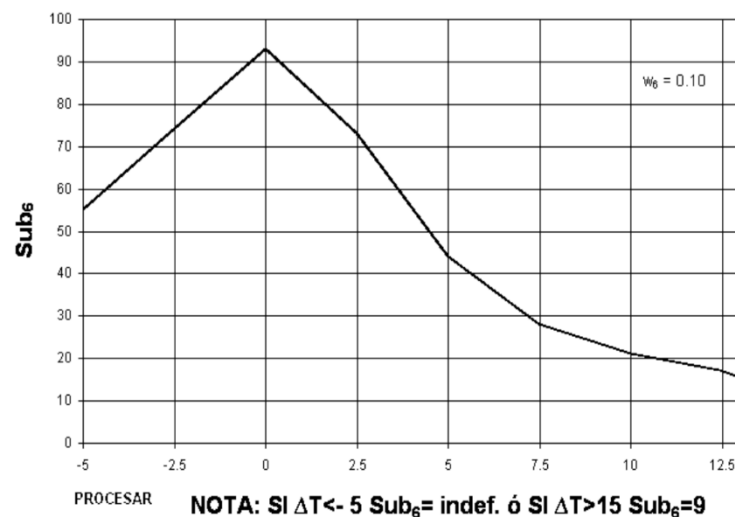
FOSFATOS



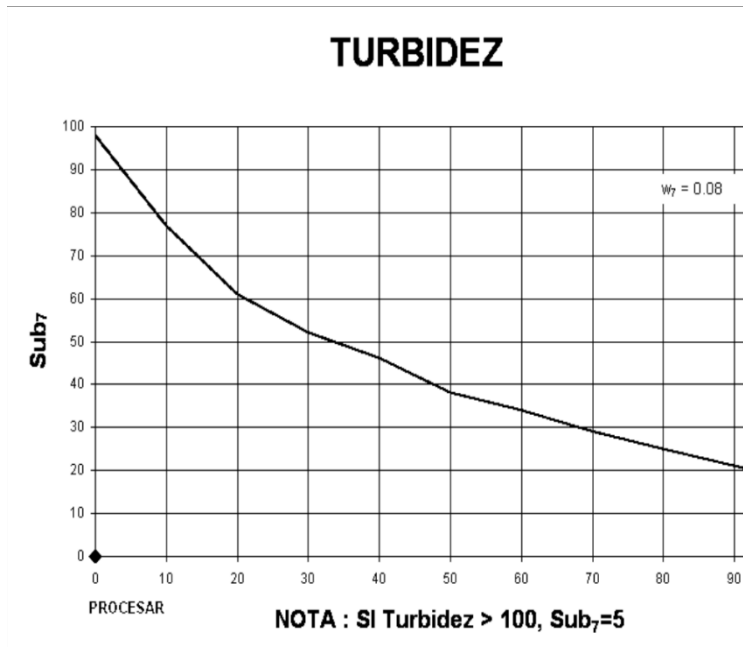
CAMBIO DE TEMPERTURA

CAMBIO DE TEMPERTURA		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	-4,7	58
Fuente 2	-6	9
Fuente 3	-7	9
Fuente 4	-7	9

CAMBIO DE TEMPERATURA

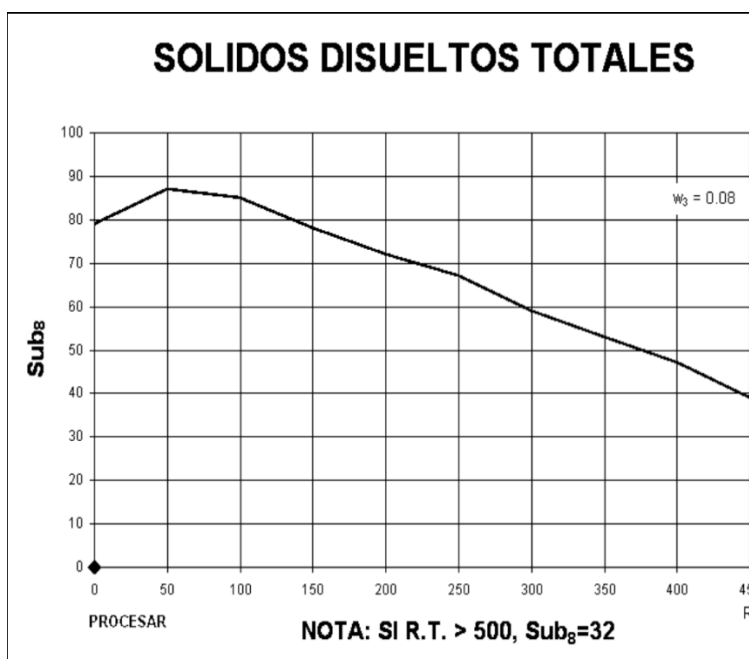


TURBIDEZ



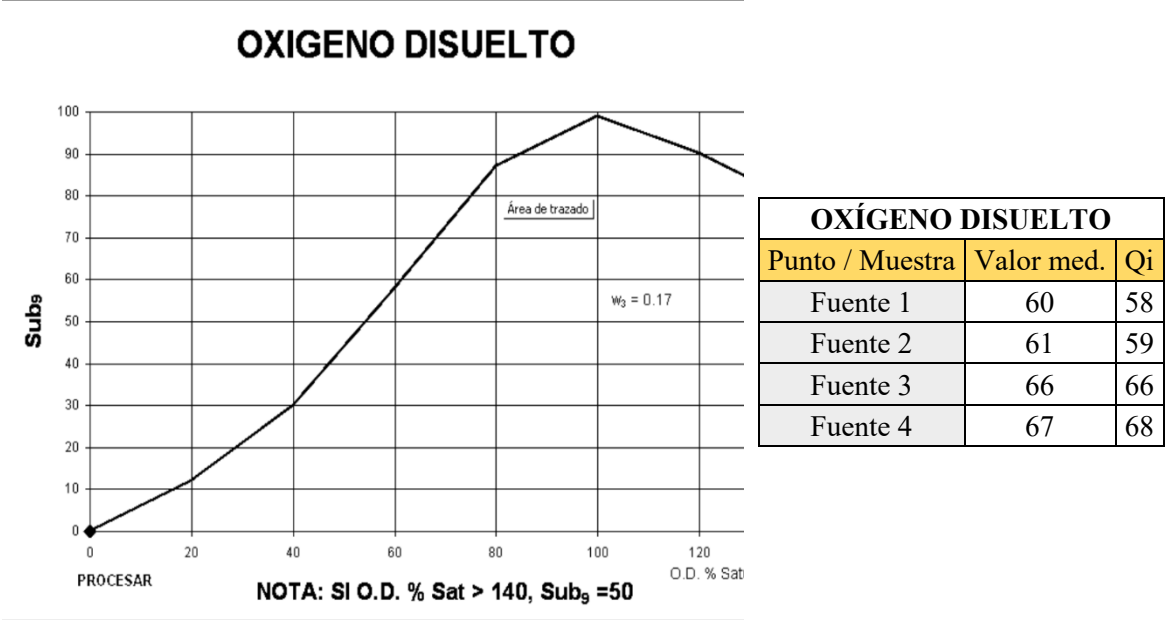
TURBIDEZ		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	1,82	94
Fuente 2	12	74
Fuente 3	6,82	83
Fuente 4	1,52	95

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES



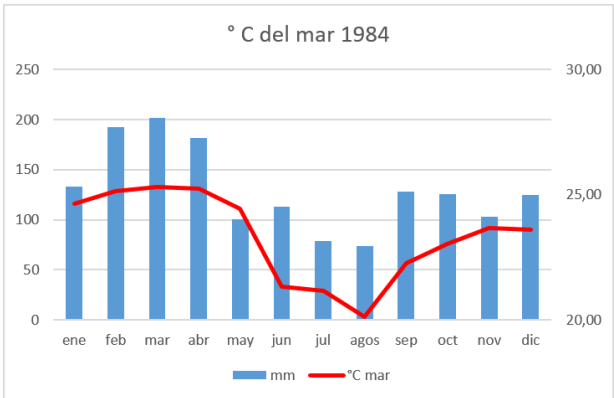
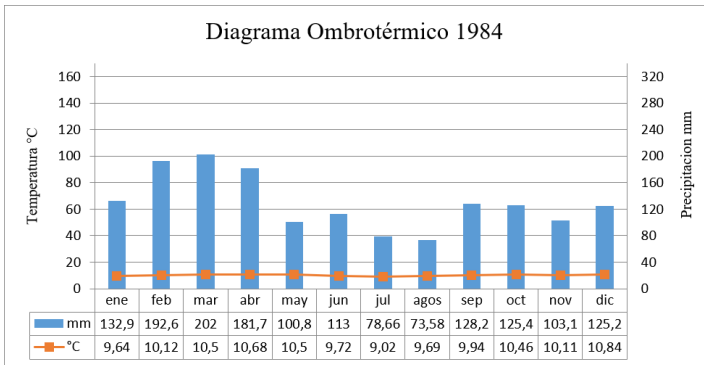
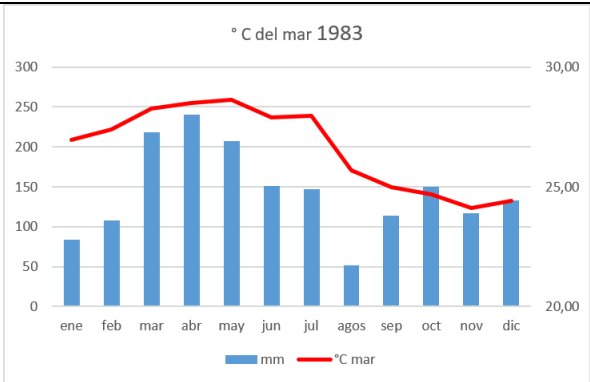
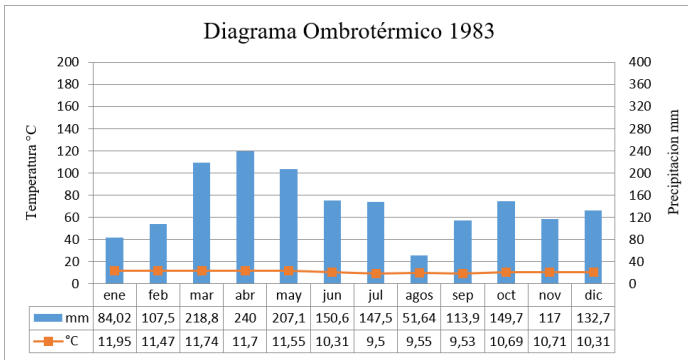
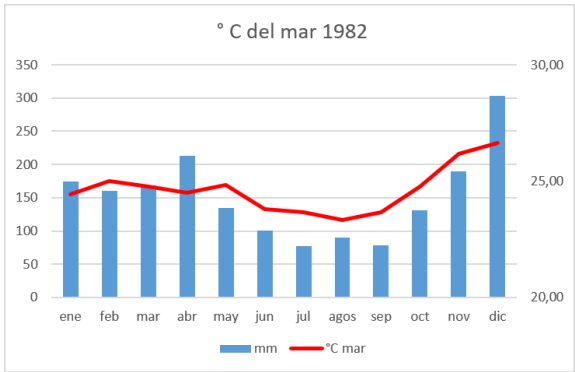
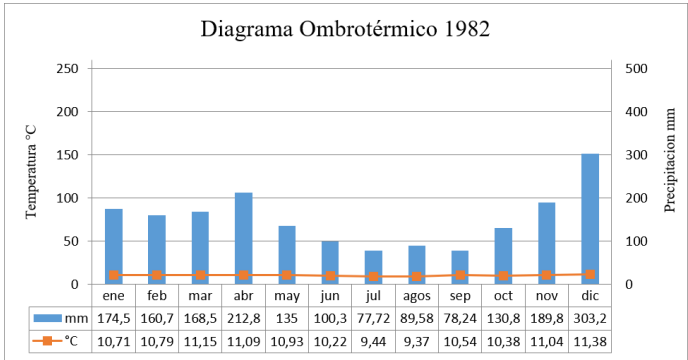
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES		
Punto / Muestra	Valor med.	Qi
Fuente 1	24,6	83
Fuente 2	37,1	85
Fuente 3	40,5	86
Fuente 4	25	83

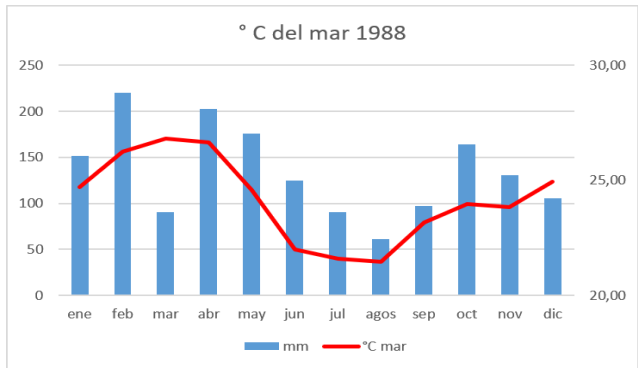
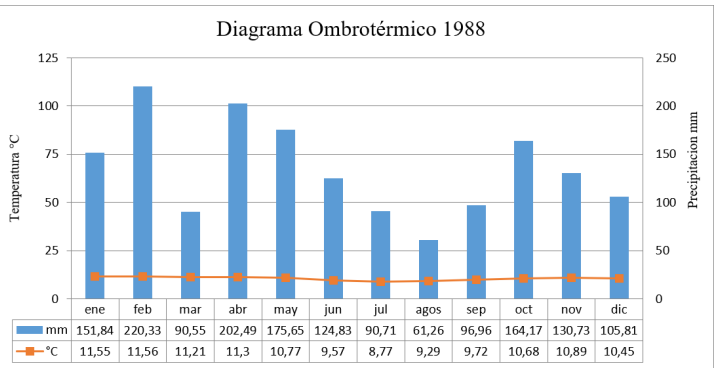
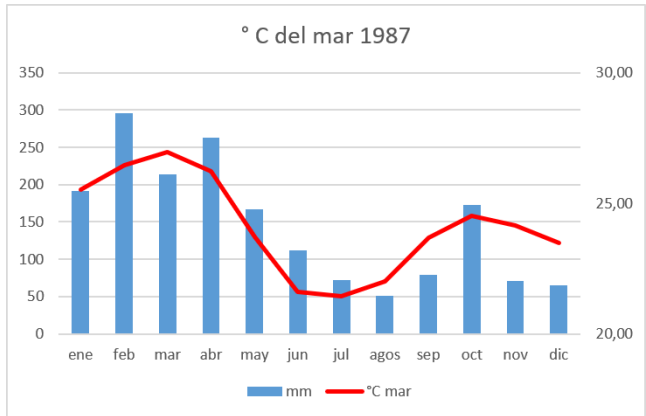
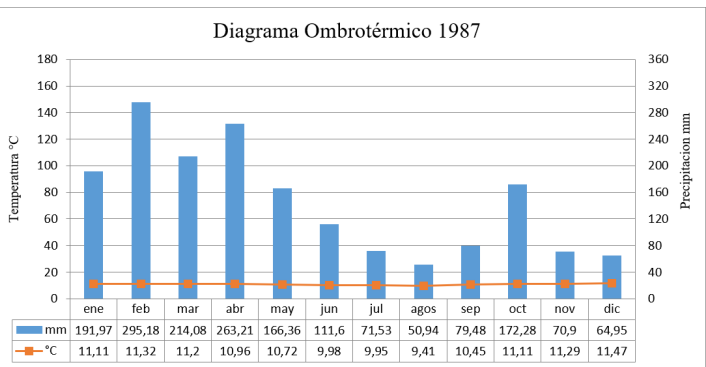
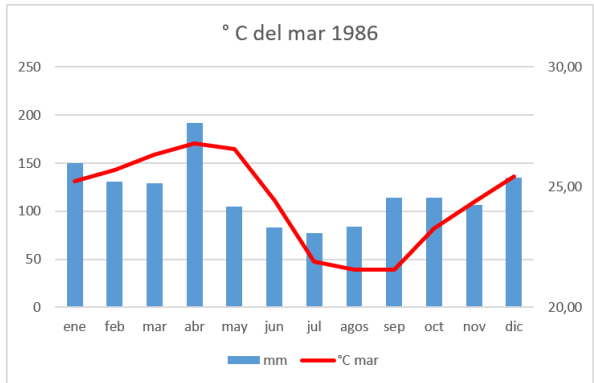
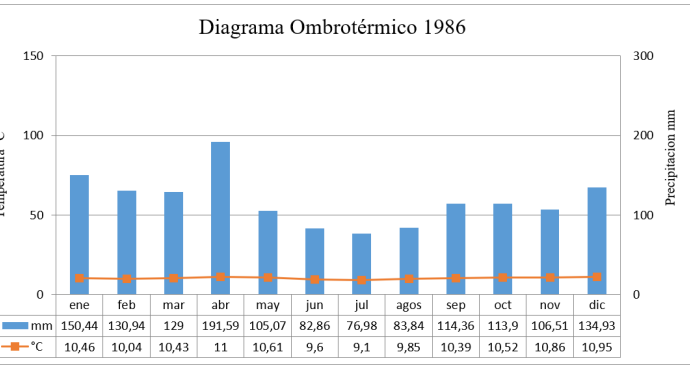
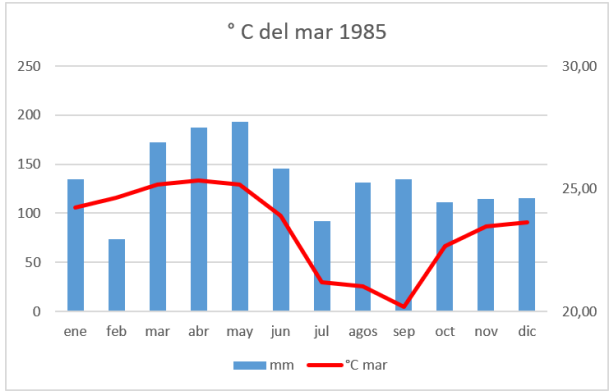
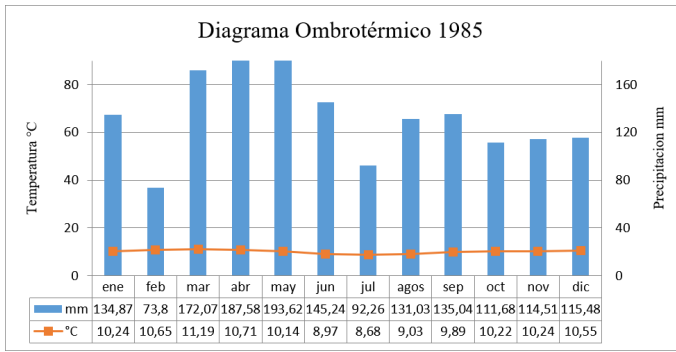
OXÍGENO DISUELTO



• Anexo N.º 2 Resultados Objetivo 2

Diagramas ombrotérmicos anuales y comportamiento de las precipitaciones frente a la temperatura del mar 1982 - 2025:





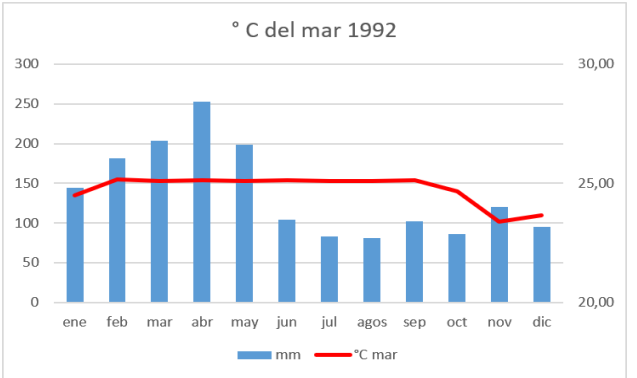
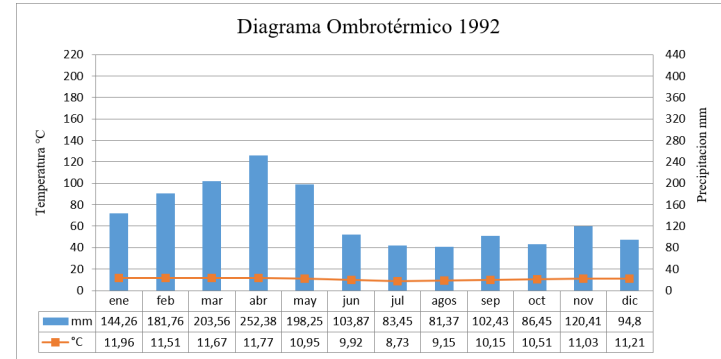
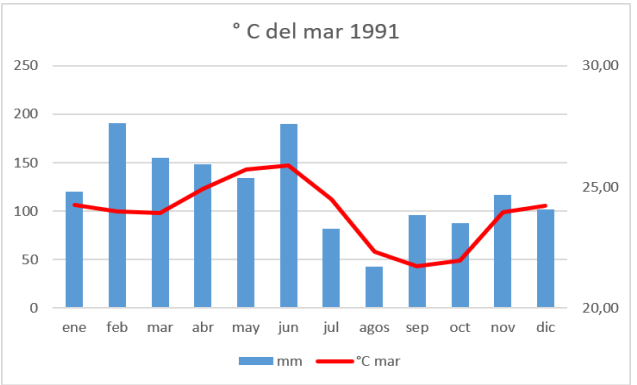
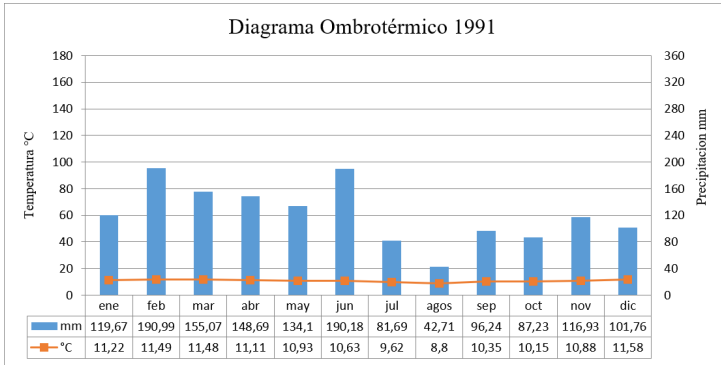
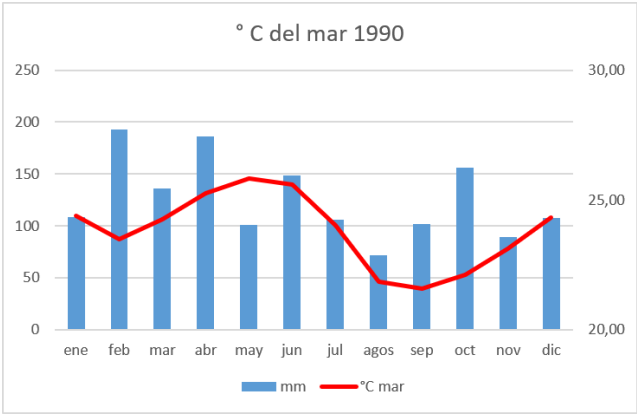
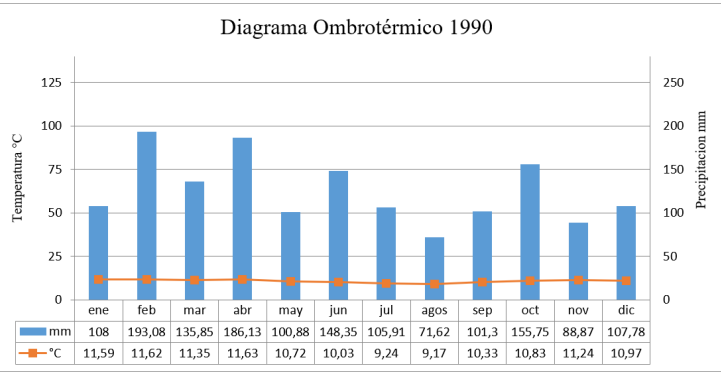
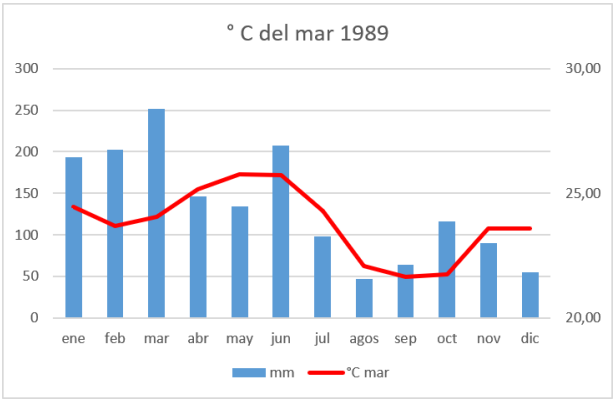
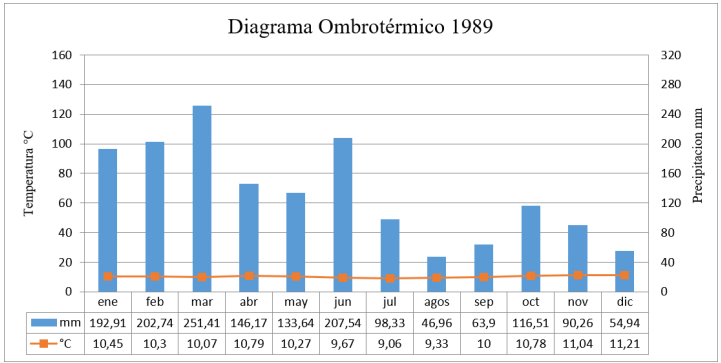
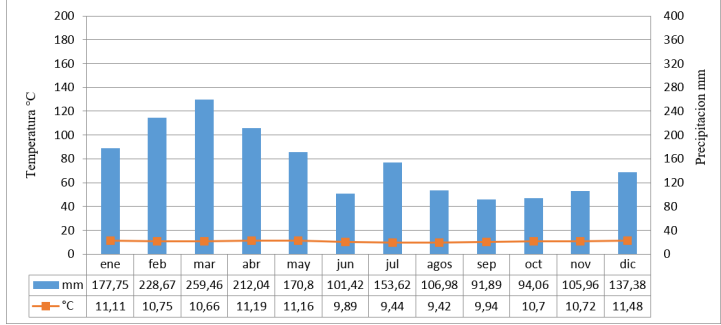


Diagrama Ombrotérmico 1993



° C del mar 1993

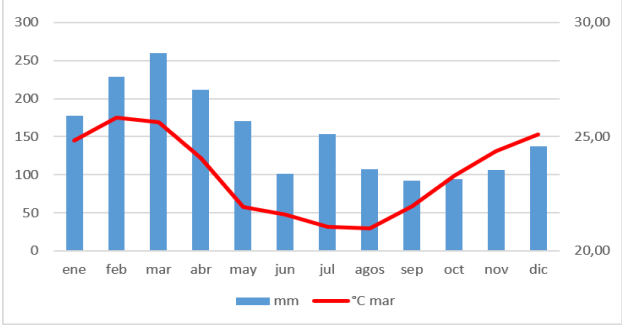
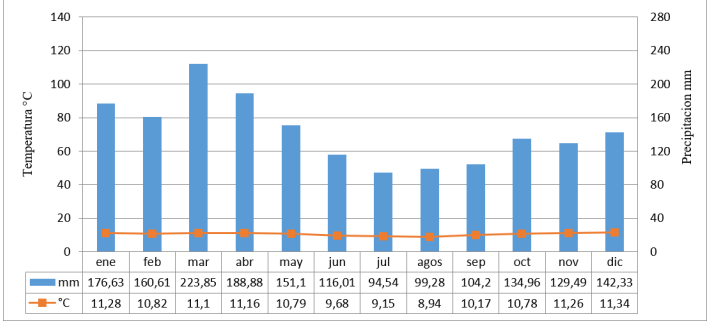


Diagrama Ombrotérmico 1994



° C del mar 1994

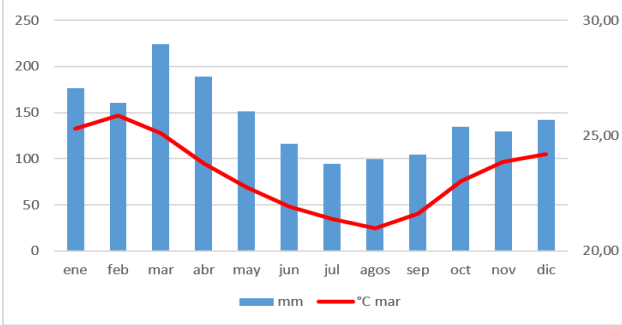
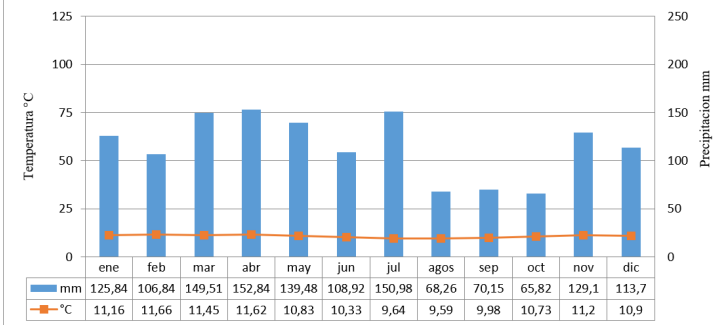


Diagrama Ombrotérmico 1995



° C del mar 1995

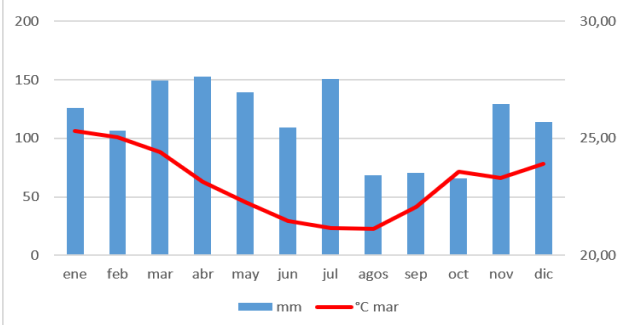
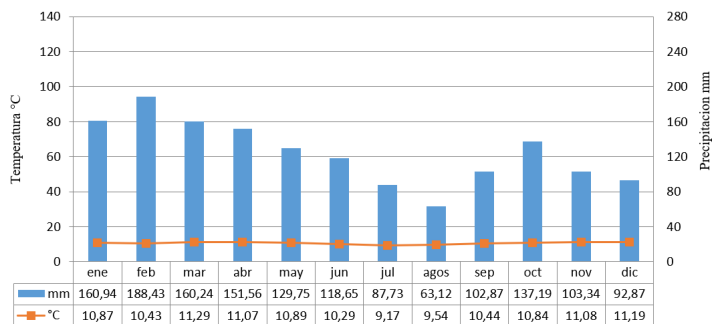
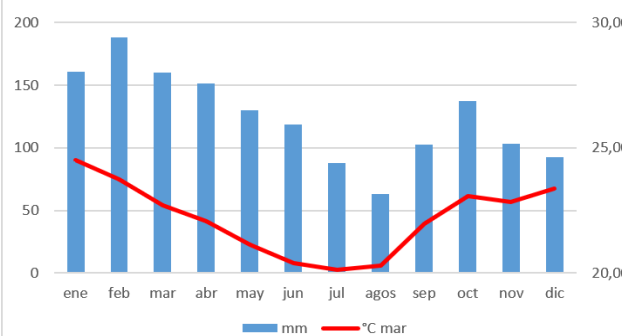


Diagrama Ombrotérmico 1996



° C del mar 1996



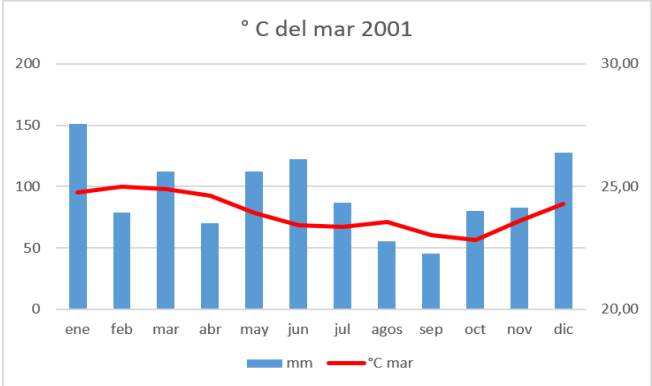
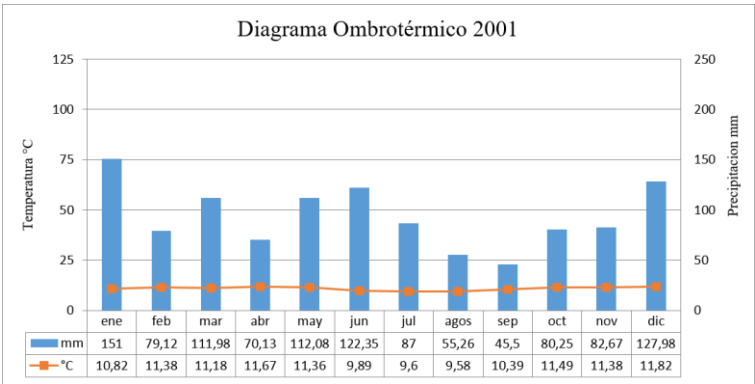
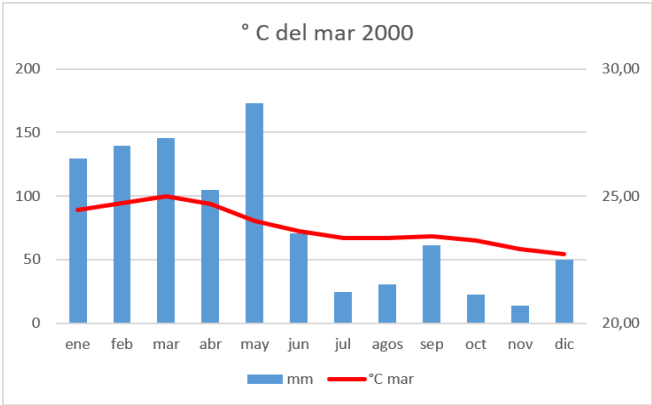
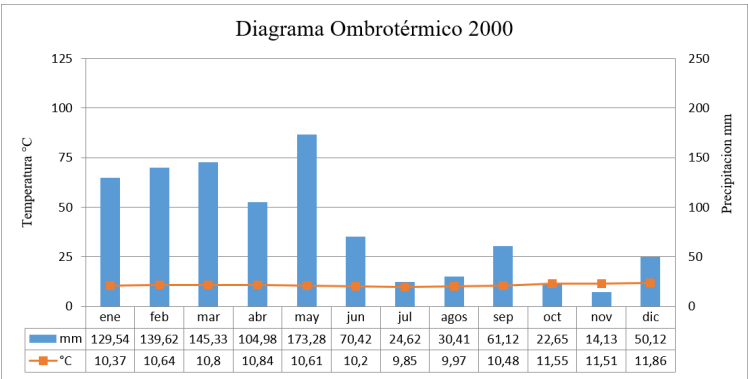
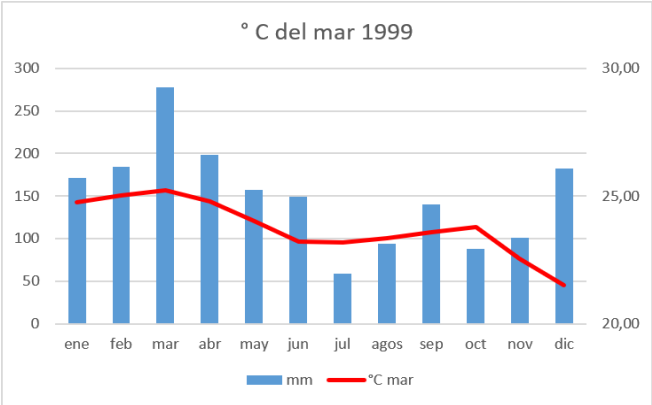
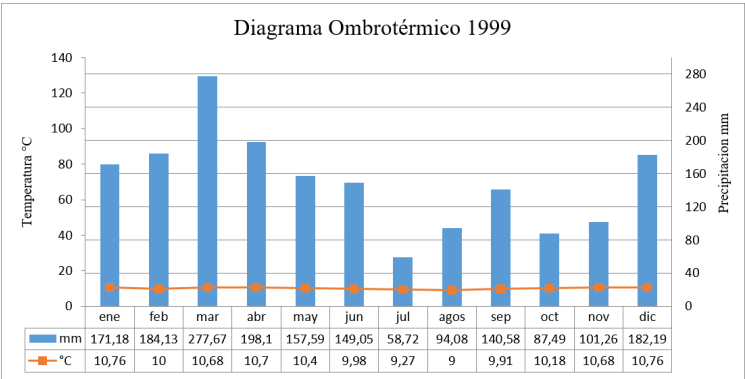
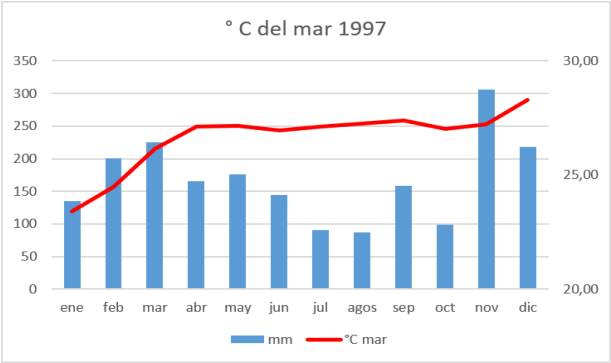
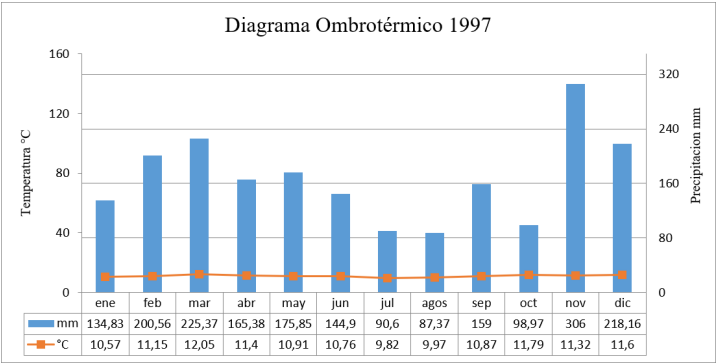
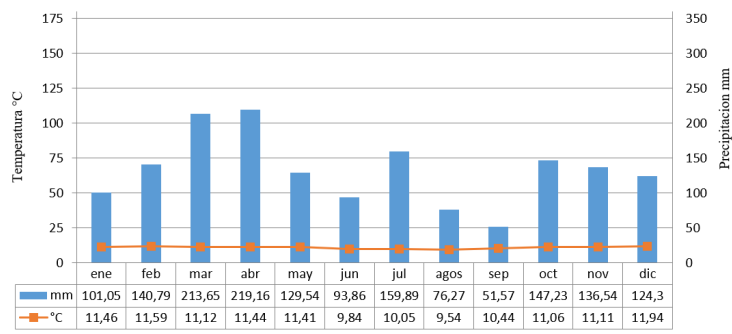


Diagrama Ombrotérmico 2002



° C del mar 2002

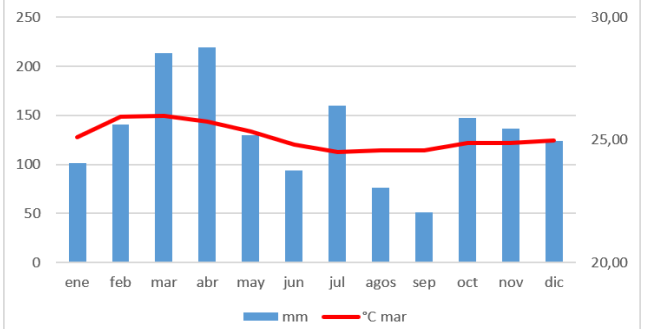
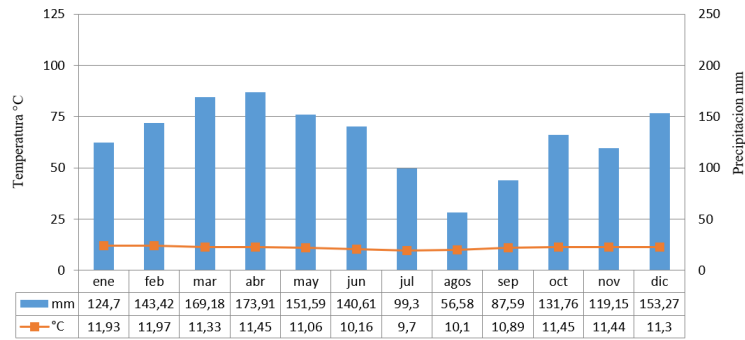


Diagrama Ombrotérmico 2003



° C del mar 2003

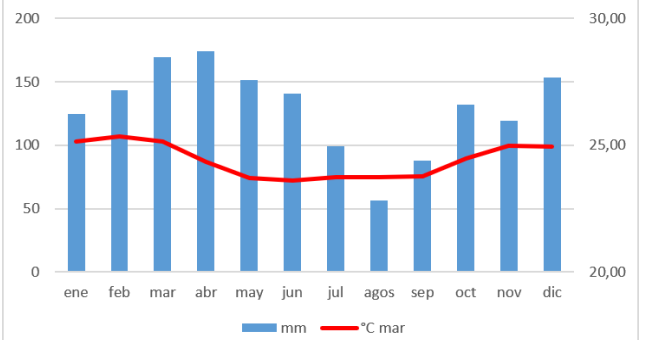
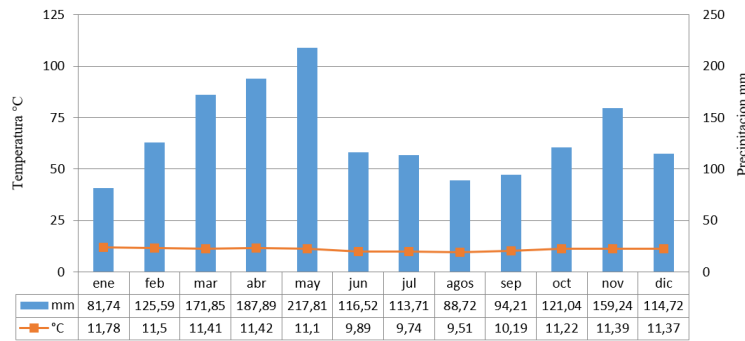


Diagrama Ombrotérmico 2004



° C del mar 2004

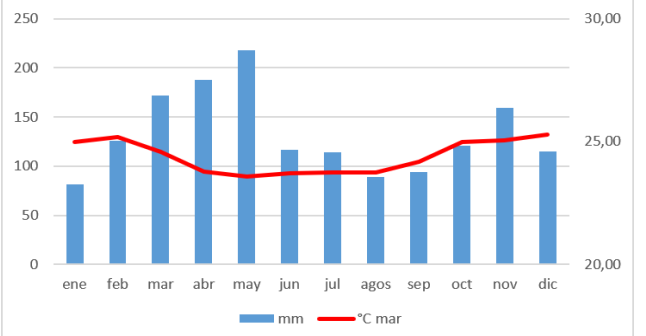
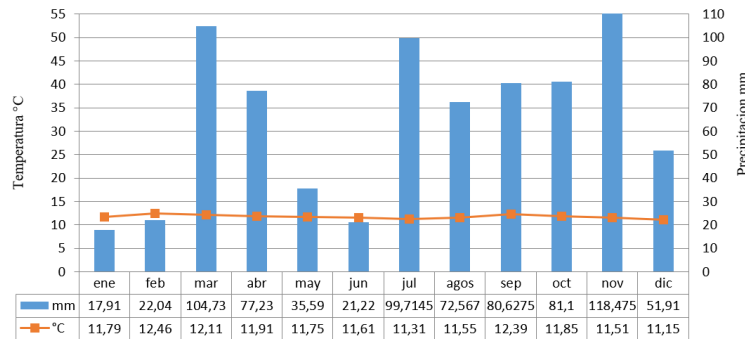


Diagrama Ombrotérmico 2005



° C del mar 2005

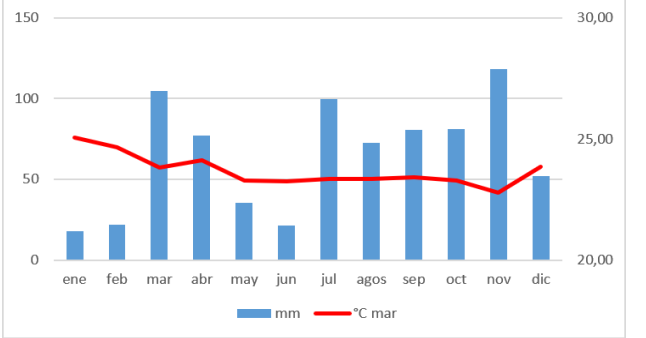
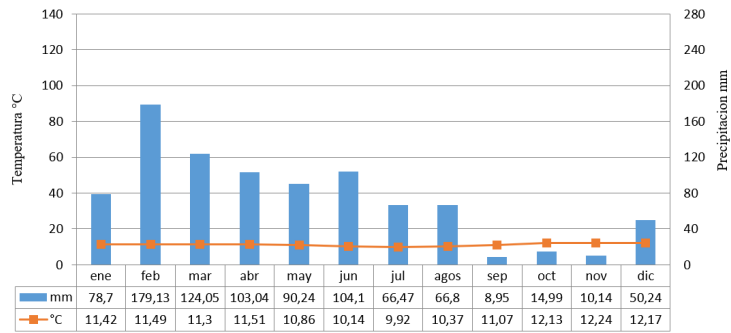


Diagrama Ombrotérmico 2006



° C del mar 2006

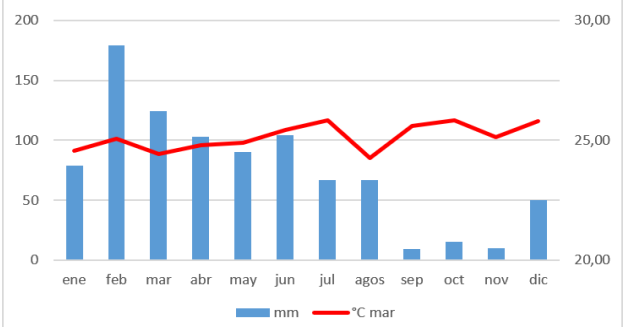
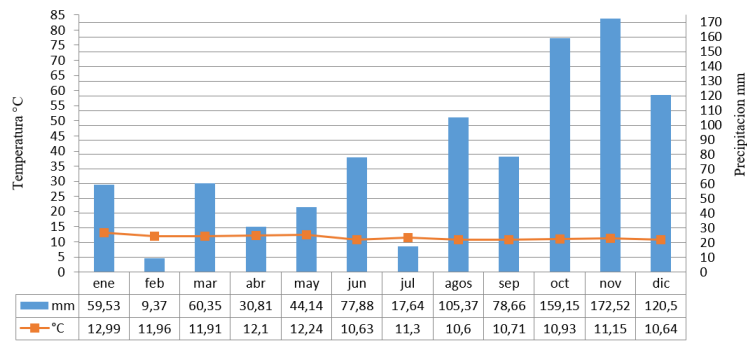


Diagrama Ombrotérmico 2007



° C del mar 2007

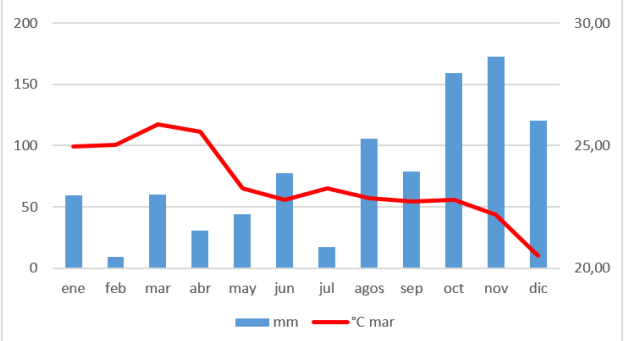
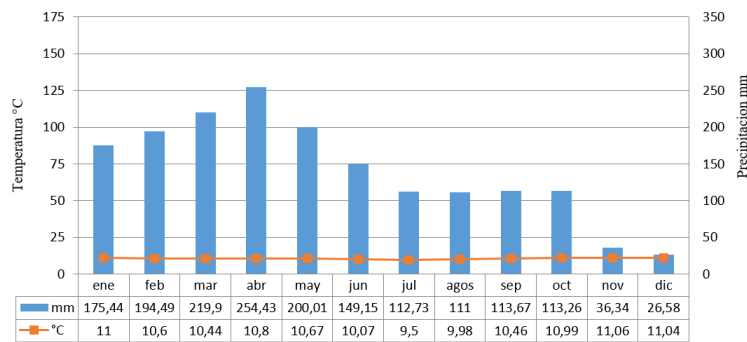


Diagrama Ombrotérmico 2008



° C del mar 2008

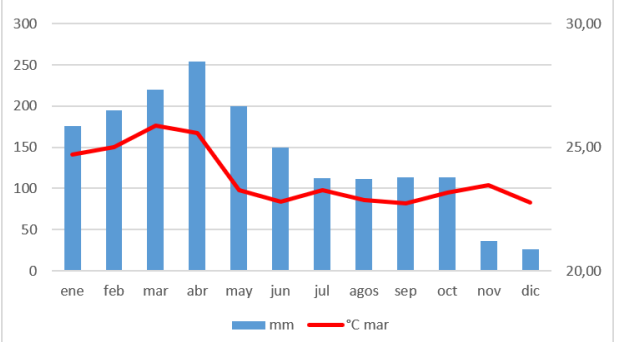
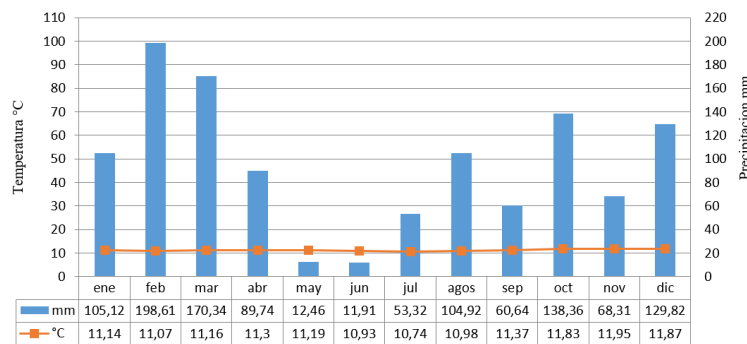


Diagrama Ombrotérmico 2009



° C del mar 2009

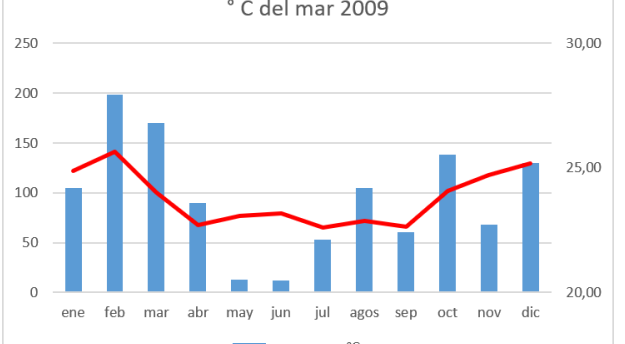
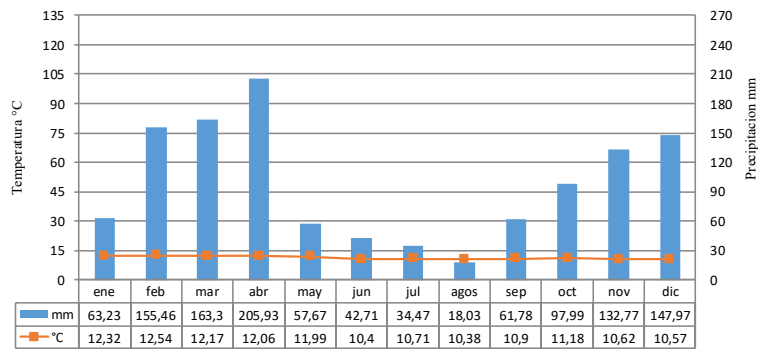


Diagrama Ombrotérmico 2010



2010

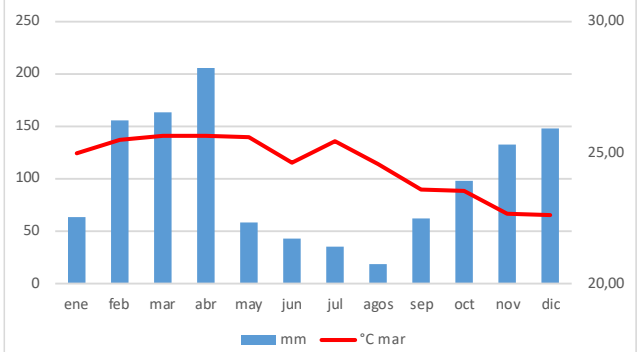
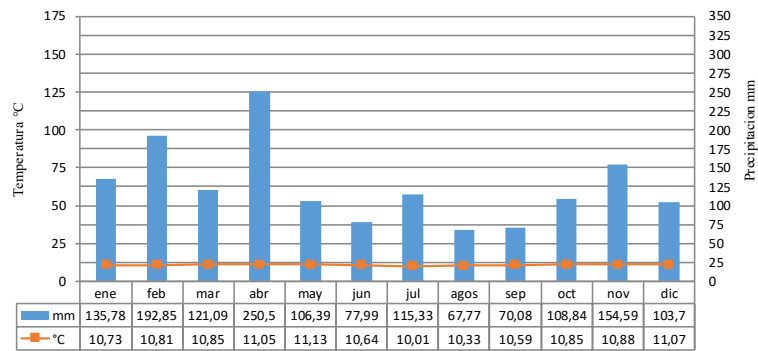


Diagrama Ombrotérmico 2011



2011

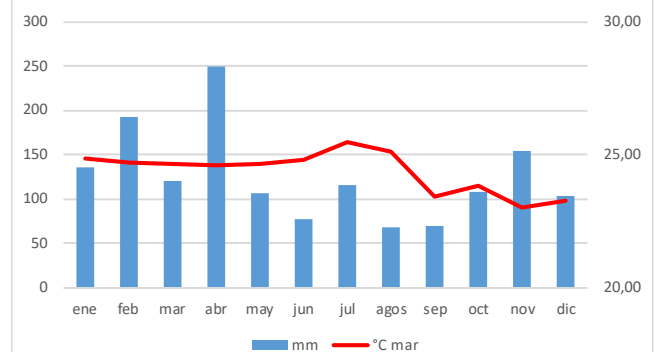
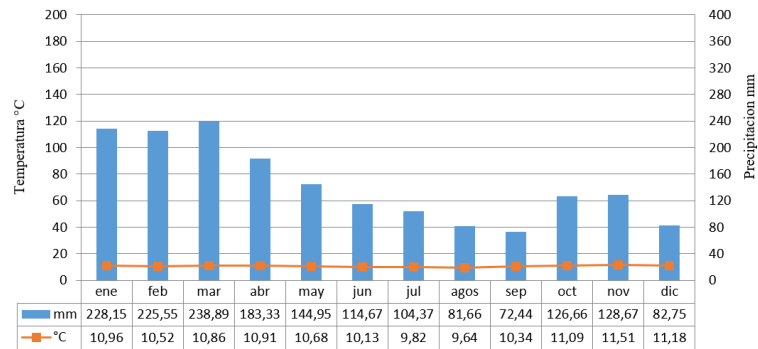


Diagrama Ombrotérmico 2012



2012

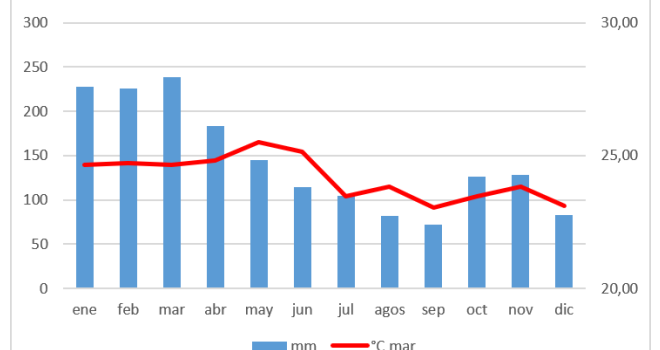
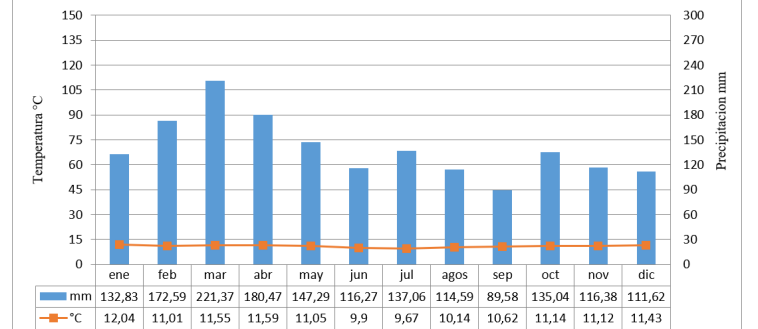
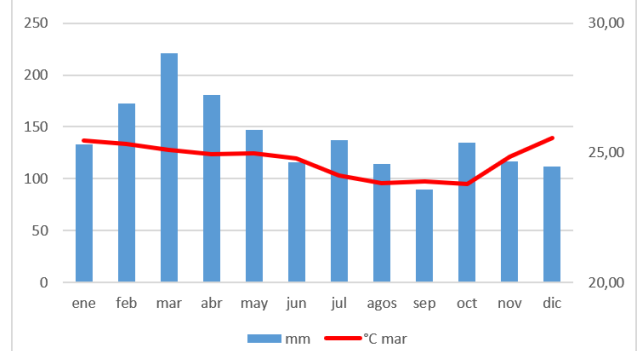


Diagrama Ombrotérmico 2013



2013



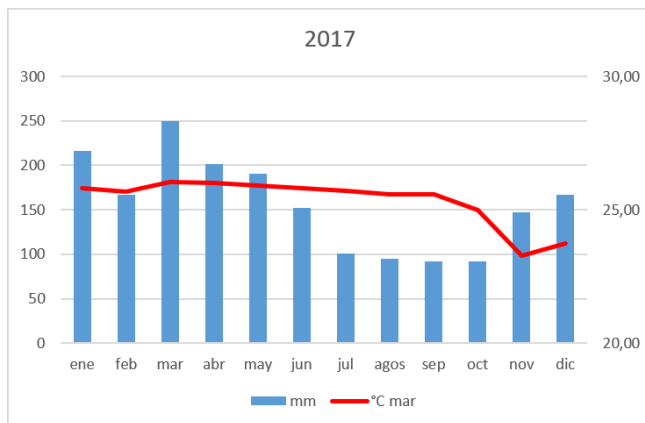
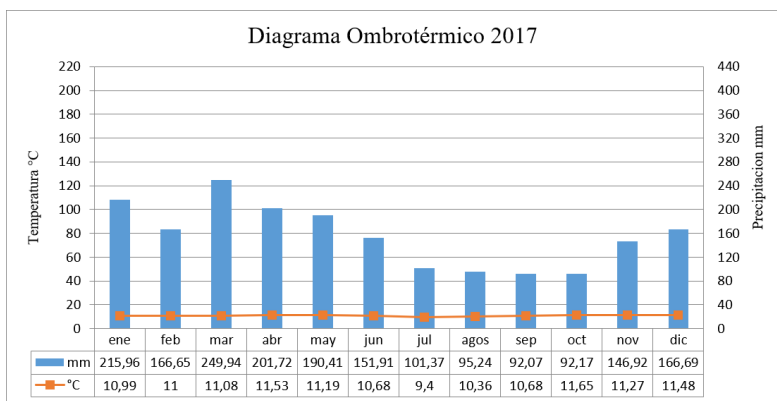
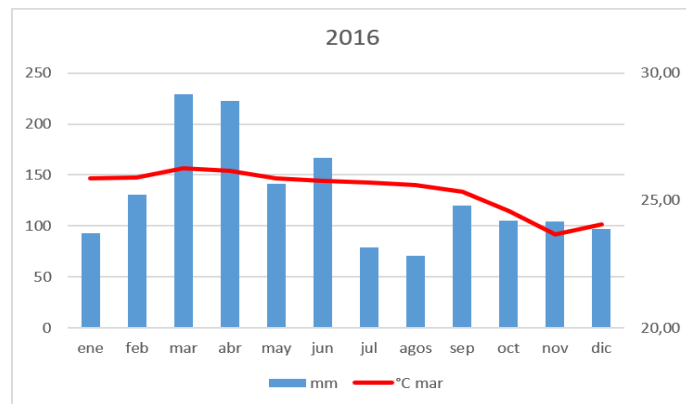
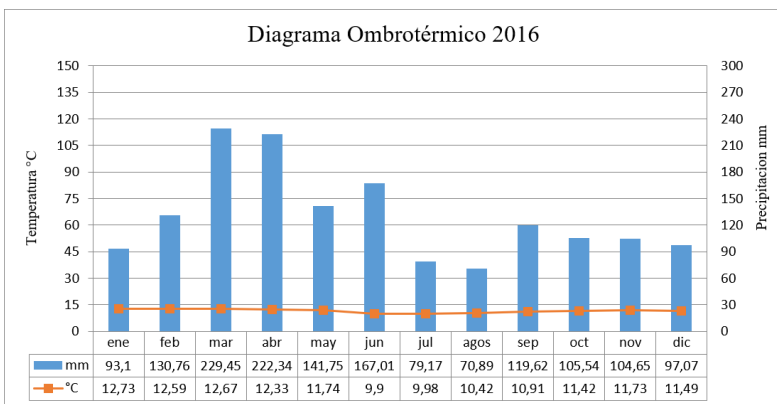
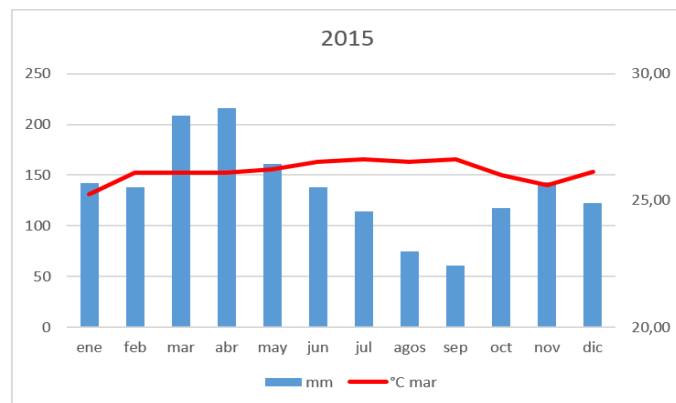
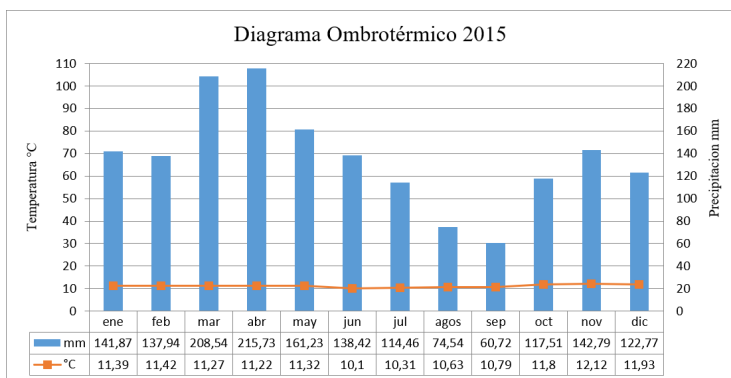
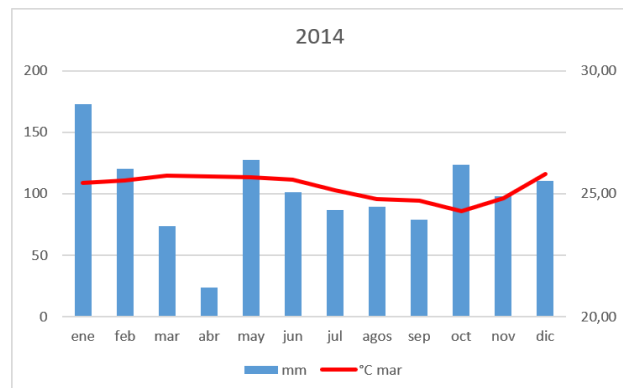
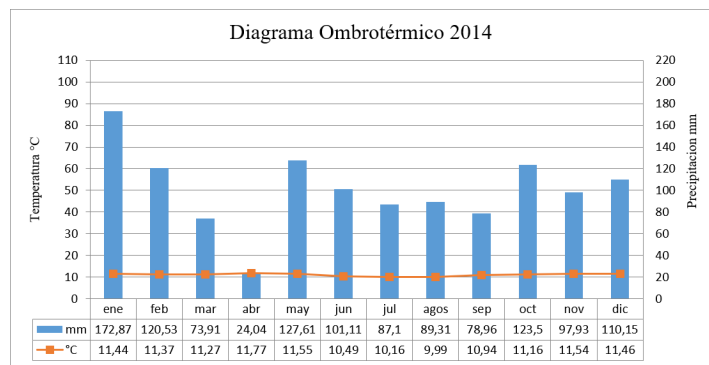
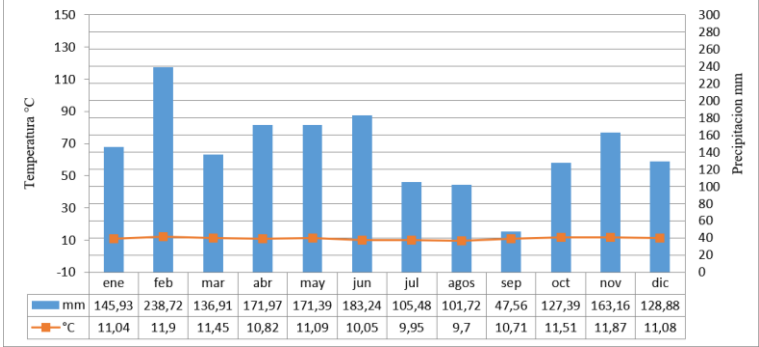


Diagrama Ombrotérmico 2018



2018

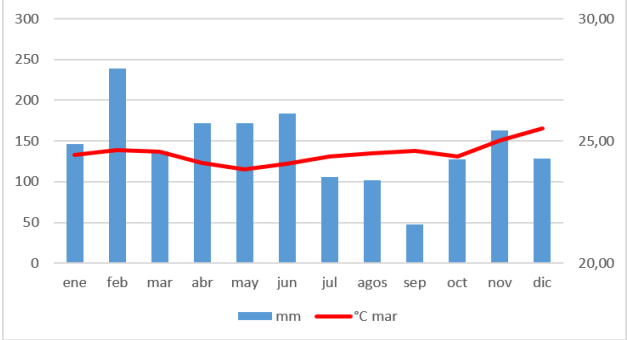
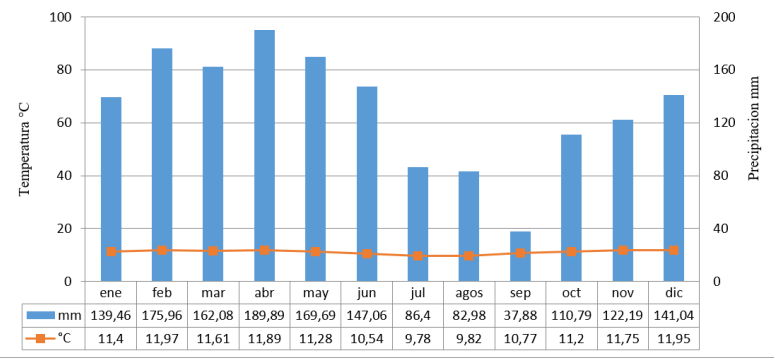


Diagrama Ombrotérmico 2019



2019

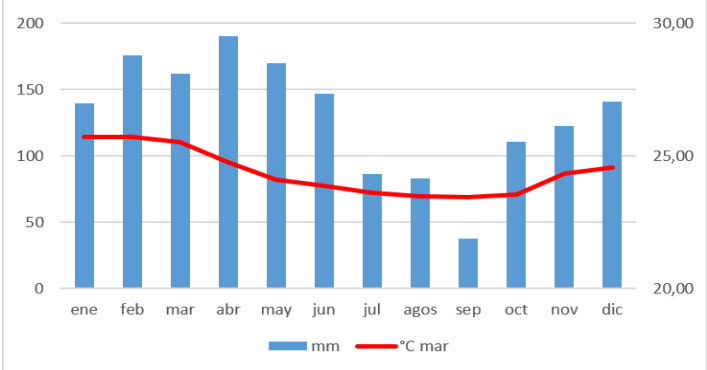
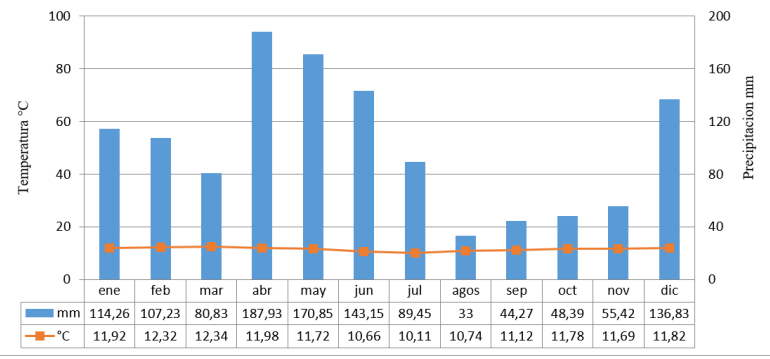


Diagrama Ombrotérmico 2020



2020

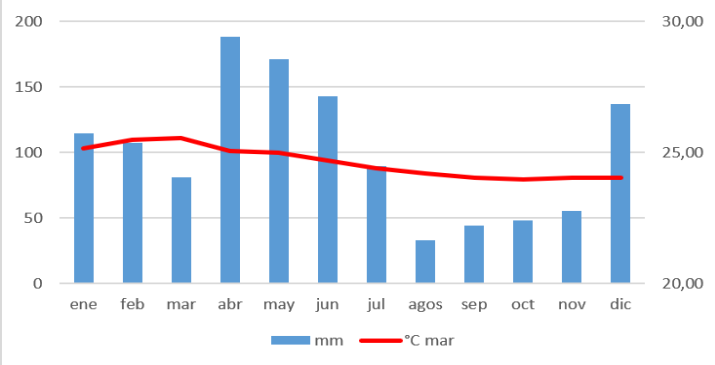
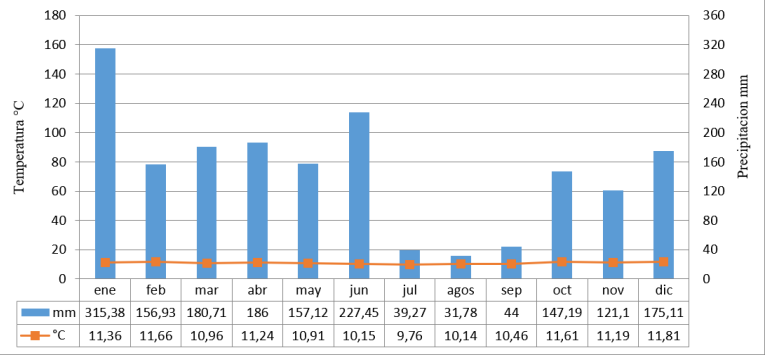
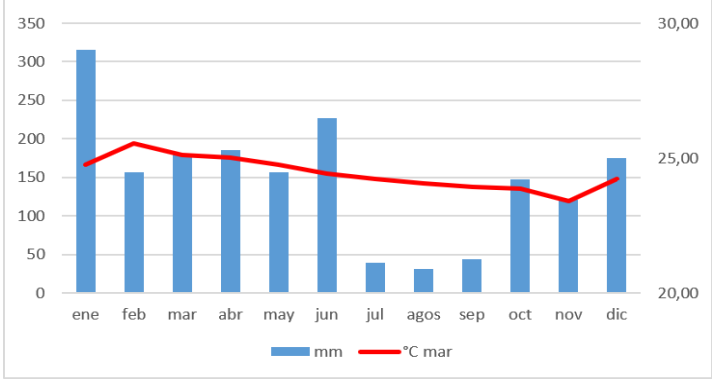
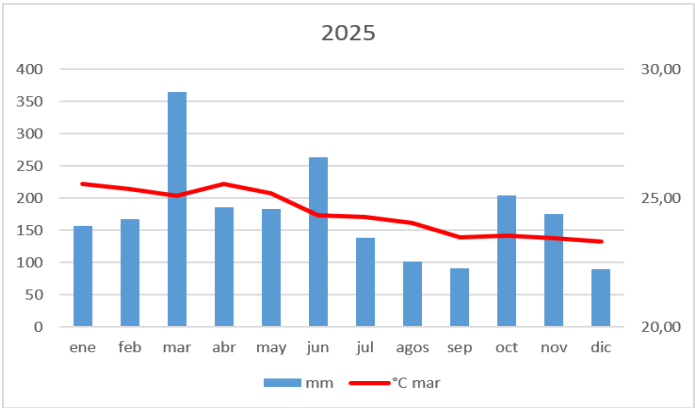
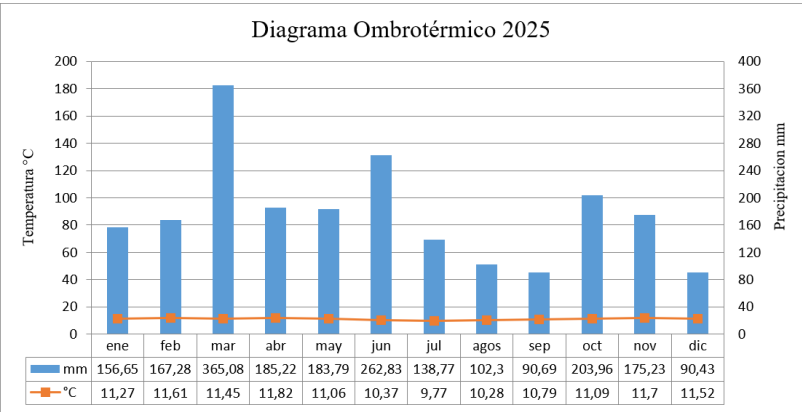
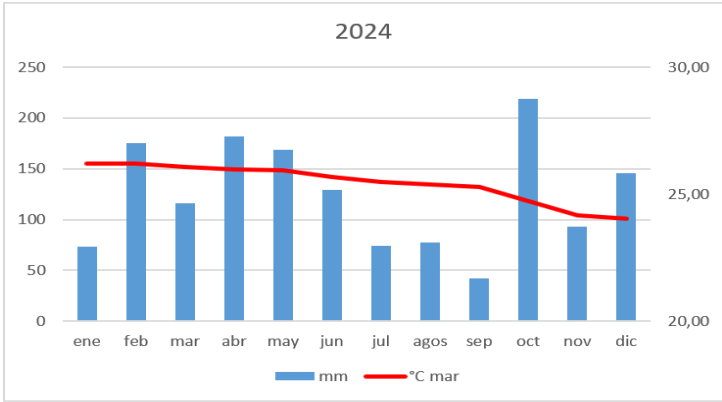
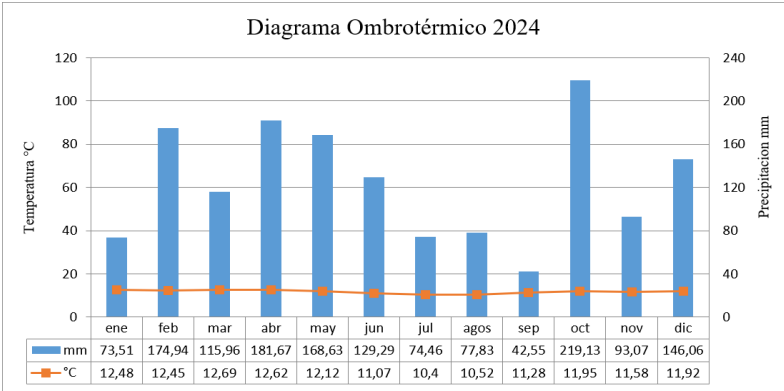
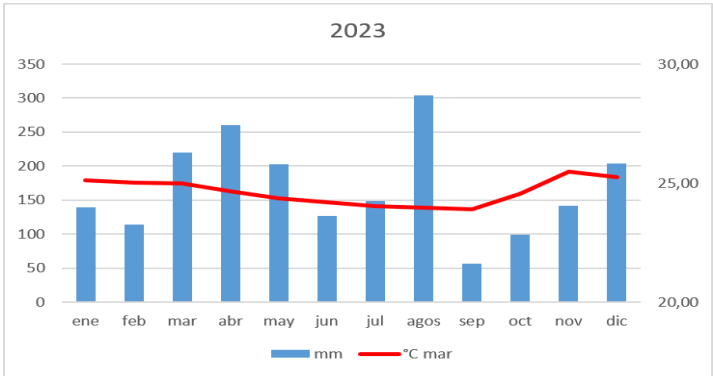
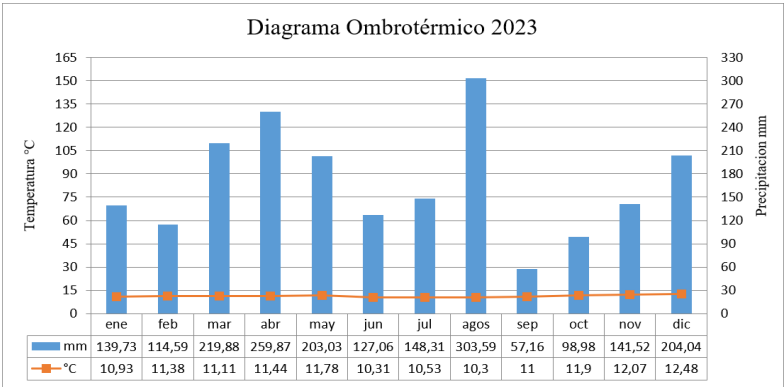
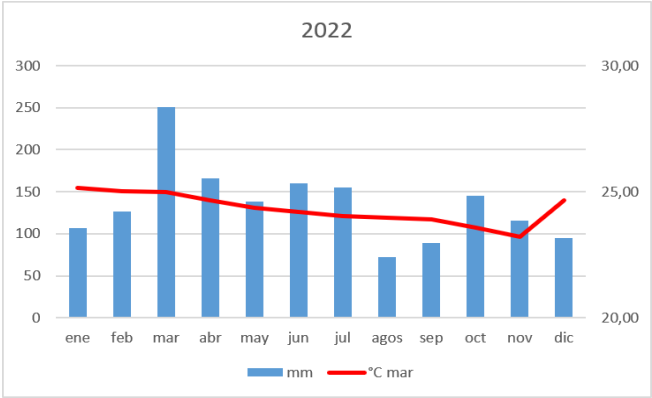
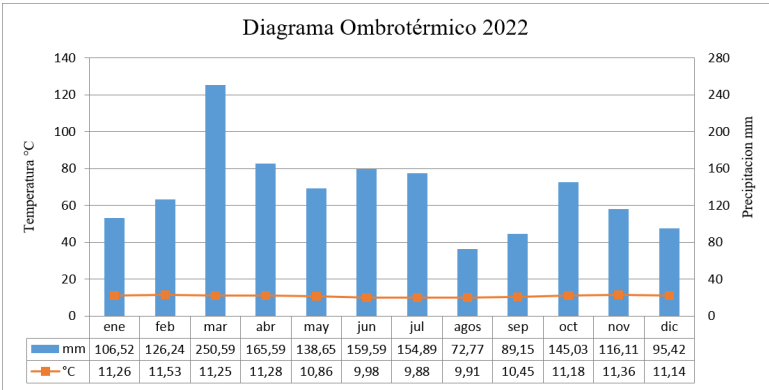


Diagrama Ombrotérmico 2021



2021





- **Anexo N.º 3 Presupuesto Ejecutado**

Materiales	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Impresiones de encuestas	19	0.10	\$1.90
Compra de cinta de papel	1	\$0.75	\$ 0.75
Regla plástica de 30 cm	1	\$0.50	\$ 0.50
Pasajes a las capacitaciones	4	\$0.30	\$ 1.20
Guantes de nitrilo	1 caja	-----	\$8,71
Toallas de cocina	2 rollos	\$2 c/u	\$4
Metro	1	\$ 1	\$ 1
Total			\$ 18,06

- Anexo N.º 4 Cronograma (Gantt)

Actividades	Tiempo (Meses - Semanas)																											
	Noviembre 2025				Diciembre 2025				Enero 2026				Febrero 2026				Marzo 2026				Abril 2026				Mayo 2026			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Reconocimiento del lugar de estudio (Páramo Cruz de Ventanas)			11																									
Revisión del avance del anteproyecto con la tutora encargado				4																								
Correcciones y explicación de metodología					10																							
Capacitación de la toma de muestras					11																							
Salida de campo para la recolección de puntos de vertientes de agua y su respectiva muestra					12																							
Análisis de la calidad de las muestras de agua recogidas en el páramo de Cruz de Ventanas en el Laboratorio del Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la UEB con la Blga Isabel Paredes						15 16 17																						
Monitoreo de fuentes para conocer el estado de acumulación o disminución de agua										23																		
Actualización de monitoreo de estado de acumulación o disminución de fuentes del agua													26															
Monitoreo de estado de acumulación o disminución de fuentes del agua																	20											
Revisión de datos y análisis de información acorde a los resultados con la tutora encargado																					7							
Nuevo monitoreo de estado de acumulación o disminución de fuentes del agua																									8			

- Anexo N.º 5 Memoria fotográfica

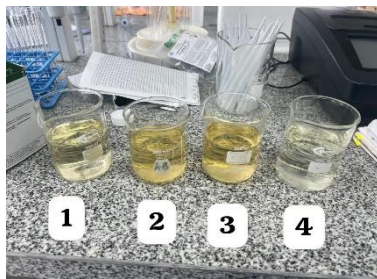
Reconocimiento del lugar de estudio (Páramo Cruz de Ventanas)



Salida de campo para la toma de puntos de vertientes de agua y su respectiva muestra



Análisis de la calidad de las muestras de agua recogidas en el páramo de Cruz de Ventanas en el Laboratorio del Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la UEB con la Blga Isabel Paredes



Monitoreo de fuentes para conocer el estado de acumulación o disminución de agua

12/12/2025

23/01/2026

26/02/2026

