



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y**  
**POSGRADO**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL CON MENCIÓN EN RECURSOS**  
**HÍDRICOS**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA COMO HERRAMIENTA**  
**PARA EL MONITOREO Y PREVENCIÓN DE CRECIDAS E INUNDACIONES, EN LA**  
**SUBCUENCA DEL RIO PUYO PARA EL GOBIERNO AUTÓNOMO**  
**DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE PASTAZA”**

**AUTOR:**

Ing. Mario Lizardo Franco Andrade

**TUTOR:**

Ing. Jorge Andrés López Parco Mgs.

**Riobamba – Ecuador**

2024

## Certificación del tutor

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: “DISEÑO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA COMO HERRAMIENTA PARA EL MONITOREO Y PREVENCIÓN DE CRECIDAS E INUNDACIONES, EN LA SUBCUENCA DEL RIO PUYO PARA EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PROVINCIAL DE PASTAZA”, ha sido elaborado por el Ingeniero Mario Lizardo Franco Andrade el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti plagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 2 de diciembre de 2024



Ing. Jorge Andrés López Parco Mgs.

**TUTOR**

## **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Yo, **Mario Lizardo Franco Andrade**, con número único de identificación **0804230829**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “Diseño de la Red Hidrometeorológica como Herramienta para el Monitoreo y Prevención de Crecidas e Inundaciones, en la Subcuenca del Río Puyo para el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza.” previo a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería Ambiental con Mención en Recursos Hídricos.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 2 de diciembre de 2024

---

**Ing. Mario Lizardo Franco Andrade**

N.U.I. 0804230829

### **Agradecimiento**

Quiero expresar mi profunda gratitud a Dios por estar siempre a mi lado, a mi esposa, mi abuelita, mi madre, mi padre que me guía desde el cielo, y mis hermanas, cuya fuerza y apoyo han sido fundamentales en mi camino hacia el logro de mis metas. Agradezco también al Ingeniero Jorge López Mgs y a la Doctora Julia Calahorrano, por su inquebrantable paciencia y su invaluable guía académica a lo largo de todo este proceso.

Expreso mi profundo agradecimiento al Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, y de manera especial al Prefecto Licenciado André Granda Mgs, por su inquebrantable apoyo y compromiso durante la elaboración de este trabajo. Su respaldo constante y su dedicación han sido fundamentales para el desarrollo exitoso de este proyecto, reflejando un genuino interés en el progreso de nuestra provincia y el bienestar de su comunidad.

Mi más sincero agradecimiento a la Ingeniera Paola Ortiz Mgs, Coordinadora de la Maestría, por su invaluable asesoría, motivación y calidad de la información durante todas las etapas del programa.

Mario.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a la humildad y al coraje de ese niño que, a pesar de los desafíos, nunca dejó de avanzar con determinación. Este logro es un testimonio de la fuerza que reside en cada uno de nosotros cuando nos atrevemos a soñar y a reconocer que, en nuestra pequeñez, reside nuestra verdadera grandeza.

Para quienes creen que cada pequeño aporte puede hacer la diferencia y luchan por dejar un legado positivo en nuestro hogar común, la Tierra.

Mario.

## Índice General

Certificación del tutor.....	ii
Declaración de Autoría y Cesión de Derechos.....	iii
Agradecimiento .....	iv
Dedicatoria.....	v
Índice General.....	vi
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras .....	xi
Resumen .....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Capítulo 1 Generalidades.....	6
1.1 Planteamiento del problema.....	6
1.2 Justificación de la Investigación .....	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo General .....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica.....	9
2.1 Antecedentes Investigativos.....	9
2.2 Fundamentación Legal.....	13
2.2.1 Legislación Nacional e Internacional.....	13
2.2.2 Responsabilidades del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (GADPPZ).....	14
2.3 Fundamentación Teórica.....	15
2.3.1 Red hidrometeorológica .....	15
2.3.2 Estaciones Meteorológicas.....	17

2.3.3	Estaciones Hidrométricas .....	19
2.3.4	Polígono de Thiessen .....	21
2.3.5	Categorización del Área de Estudio .....	22
2.3.6	Estudio económico .....	25
2.3.7	Estudio ambiental.....	26
2.3.8	Estudio Social.....	27
2.4	Fundamentación de los criterios para el Diseño .....	28
2.4.1	Criterios Funcionales.....	29
2.4.2	Criterios Técnicos .....	30
Capítulo Diseño Metodológico.....		36
3.1	Análisis del área de estudio.....	36
3.1.1	Ubicación Geográfica.....	36
3.1.2	Clima .....	37
3.1.3	Hidrografía .....	37
3.1.4	División Política.....	38
3.1.5	Orografía .....	39
3.1.6	Población.....	39
3.1.7	Características Topográficas y Altitudinales de la Subcuenca del Río Puyo .....	40
3.2	Enfoque de la Investigación.....	41
3.3	Diseño de la Investigación.....	42
3.3.1	Evaluación y diagnóstico el estado de las estaciones hidrometeorológicas que operan en la subcuenca actualmente.....	42
3.3.2	Adquisición de datos geográficos .....	42
3.3.3	Diseño de la Red Meteorológica .....	43
3.3.4	Diseño de la Red Hidrométricas e Hidrológica.....	45

3.3.5	Estudio Económico .....	45
3.3.6	Estudio Ambiental.....	46
3.3.7	Estudio Social.....	46
3.4	Tipo de investigación.....	47
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	48
3.6	Técnicas para el Procesamiento e Interpretación de Datos.....	49
3.7	Población y Muestra .....	50
3.7.1	Población.....	50
3.7.2	Tamaño de la Muestra.....	51
Capítulo 4	Análisis y Discusión de los Resultados .....	52
4.1	Evaluación y Diseño de la Red Hidrometeorológica para la Gestión de Crecidas e Inundaciones en la Subcuenca del Río Puyo.....	52
4.1.1	Evaluación y diagnóstico de las Estaciones Hidrometeorológicas Actual y Delimitación de la Subcuenca .....	52
4.1.2	Criterios Técnicos, Funcionales y Diseño de la Red Meteorológica e Hidrométrica.....	54
4.1.3	Diseño de la Red Hidrometeorológica .....	55
4.1.4	Estudio economico .....	59
4.1.5	Estudio Ambiental.....	61
4.1.6	Estudio Social.....	64
4.2	Discusión de los Resultados.....	66
Capítulo 5	Marco Propositivo.....	69
5.1	Planificación de la Actividad Preventiva.....	69
Conclusiones.....		70
Recomendaciones .....		71
Referencias Bibliográficas.....		72



Apéndice.....	77
Apéndice A. Cuestionario .....	77
Apéndice B. Guía de Entrevista .....	79
Apéndice C. Resultados de la Entrevista.....	83
Apéndice D. Costo y descripción técnica de cada equipo.....	85

## Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Parámetros de Densidad por Estación Pluviométrica y Meteorológica.....</i>	43
Tabla 2	<i>Influencia de las Estaciones Meteorológicas y Pluviométrica.....</i>	52
Tabla 3	<i>Estaciones y Variables de Monitoreo para Red Hidrometeorológica Propuesta .</i>	54
Tabla 4	<i>Estaciones para la Red Hidrometeorológica Propuesta.....</i>	56
Tabla 5	<i>Área de Influencia (Km2) de las Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas ..</i>	56
Tabla 6	<i>Costo Inicial de la Red Hidrometeorológica para la Subcuenca del rio Puyo.....</i>	59
Tabla 7	<i>Costo del Proyecto por 20 Años .....</i>	60
Tabla 8	<i>Variación del Uso de Suelo entre 1990-2018.....</i>	61

## Índice de Figuras

Figura 1	<i>Caudal <math>Q</math> (m<sup>3</sup>/s) vs Nivel del Agua o Calado <math>H</math> (m)</i> .....	20
Figura 2	<i>Densidad por Estación (superficie km<sup>2</sup>)</i> .....	31
Figura 3	<i>Ubicación Geográfica de la Provincia de Pastaza</i> .....	36
Figura 4	<i>Hidrografía de la Subcuenca de Rio Puyo</i> .....	37
Figura 5	<i>Cantones de la Provincia de Pastaza</i> .....	38
Figura 6	<i>Población en la Provincia de Pastaza</i> .....	39
Figura 7	<i>Altura de la Subcuenca del Rio Puyo</i> .....	40
Figura 8	<i>Área de Influencia de cada Estación Meteorológicas y Pluviométricas en la Subcuenca del rio Puyo por el Método de Thissen</i> .....	53
Figura 9	<i>Distribución de la Red Hidrometeorológica con las Áreas de Influencia para las Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas</i> .....	56
Figura 10	<i>Variación de la Cobertura de Uso de Suelo y Distribución de la Red Hidrometeorológica Propuesta</i> .....	62

## Resumen

El estudio titulado "Diseño de la Red Hidrometeorológica como Herramienta para el Monitoreo y Prevención de Crecidas e Inundaciones, en la Subcuenca del Río Puyo para el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza" aborda la necesidad de mejorar la recopilación de datos hidrometeorológicos en Pastaza, Ecuador, su objetivo es diseñar una red de estaciones que optimice la gestión del recurso hídrico y la prevención de desastres naturales, considerando trabajos de investigadores y criterios técnicos de la Organización Meteorológica Mundial, el diagnóstico reveló que, de las cuatro estaciones actuales en la subcuenca, solo una está operativa, subrayando la urgencia de una nueva red, utilizando el método de polígonos de Thiessen en ArcGIS 10.8 y un análisis multicriterio que incluyó altitud, pendiente, accesibilidad y seguridad, se propuso la instalación de 20 estaciones: 3 hidrológicas, 4 pluviométricas, 9 hidrométricas y 4 meteorológicas, con un costo estimado de \$607,636.73 a 20 años. Se realizó un análisis ambiental que reveló un aumento del área antrópica del 53.17% al 68.79% entre 1990 y 2018, y un estudio social que evidenció un bajo conocimiento de la población sobre el proyecto, lo que plantea desafíos para su aceptación, la red propuesta mejorará la cobertura y precisión de los datos, fortalecerá la capacidad de respuesta ante emergencias, y contribuirá a una gestión más eficiente de los recursos hídricos, cumpliendo con las normativas legales y garantizando la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

**Palabras claves:** *hidrometeorológica, subcuenca del río Puyo, diseño de red, gestión de recursos hídricos, prevención de desastres.*

### **Abstract**

The study entitled "Design of the Hydrometeorological Network as a Tool for Flood and Flood Prevention and Monitoring in the Puyo River Sub-basin for the Autonomous Decentralized Provincial Government of Pastaza" addressed the need to improve the collection of hydrometeorological data in Pastaza, Ecuador. Its objective is to design a network of stations to optimize the management of water resources and the prevention of natural disasters, considering the work of researchers and the technical criteria of the World Meteorological Organisation. The diagnosis revealed that of the four stations in the sub-basin, only one is operational, underlining the urgency of a new network. Using the Thiessen polygon method in ArcGIS 10.8 and a multi- criteria analysis that included altitude, slope, accessibility, and safety, the installation of 20 stations was proposed: 3 hydrological, 4 pluviometric, 9 hydrometric, and 4 meteorological, a total estimated cost of \$607,636.73 over 20 years. An environmental analysis was carried out, which revealed an increase in the anthropogenic area from 53.17% to 68.79% between 1990 and 2018. A social study revealed low public awareness of the project, which challenges its acceptance. The proposed network will improve data coverage and accuracy, strengthen emergency response capacity, and contribute to more efficient management of water resources, complying with legal regulations and ensuring the viability and sustainability of the project.

**Keywords:** hydrometeorological network, Puyo river sub-basin, network design, water resources management, disaster prevention.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda la urgente necesidad de establecer una red de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca del río Puyo, ubicada en la provincia de Pastaza, Ecuador. Este proyecto surge en respuesta a la falta de información hidrometeorológica precisa, así como al compromiso del GADPPz, de preservar este recurso hídrico para las futuras generaciones y cumplir con lo establecido en la legislación ecuatoriana, la implementación de esta red de monitoreo permitirá la recopilación de datos en tiempo real, mejorando la capacidad de respuesta ante fenómenos extremos como crecidas e inundaciones.

El proyecto contribuirá significativamente al conocimiento sobre el diseño y la gestión de redes hidrometeorológicas, proporcionando a los gobiernos locales y a las instituciones encargadas de la gestión de recursos hídricos una herramienta esencial para la toma de decisiones informadas, esto optimizará los procesos de planificación y mitigación de riesgos, protegiendo a las comunidades locales de los efectos adversos de los desastres naturales y promoviendo un desarrollo sostenible en la región.

La metodología empleada combina el trabajo de investigadores con los criterios técnicos de la Organización Meteorológica Mundial, se comenzó con un diagnóstico detallado de las estaciones existentes y la aplicación de un análisis de zonificación que incluyó una reclasificación de altura en dos categorías (>1000 metros para montaña y <1000 metros para llanura), pendiente (<5%), accesibilidad (<200 metros), ubicación de puentes, zonas vulnerables a inundaciones y seguridad para las estaciones, mediante el uso del método de polígonos de Thiessen en el programa ArcGIS 10.8, se determinó la cantidad y ubicación óptima de las estaciones, además, se realizó un estudio económico para determinar el costo de la red considerando una vida útil de 20 años, un análisis ambiental que examinó

la variación de cobertura de las áreas naturales y antrópicas desde 1990 hasta 2018, y un estudio social para evaluar la percepción de la comunidad, garantizando así la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

Se espera que los resultados incluyan la creación de una red de 20 estaciones, compuesta por 3 hidrológicas, 4 pluviométricas, 9 hidrométricas y 4 meteorológicas, capaz de proporcionar información precisa y oportuna, esta red no solo mejorará la gestión hídrica en la subcuenca del río Puyo, sino que también incrementará la resiliencia de las comunidades frente a desastres naturales y cambios climáticos, se espera que este trabajo sirva como precedente para la implementación de redes de monitoreo en otras regiones con características similares.

El proyecto se estructura en cinco capítulos que abarcan lo siguiente:

Capítulo 1 “Generalidades”: Este capítulo introduce el problema central del proyecto, enfocado en la escasez y baja calidad de datos hidrometeorológicos en la subcuenca del río Puyo, lo que limita la gestión eficiente de recursos hídricos y la planificación para la prevención de desastres naturales, se justifica la necesidad de diseñar una red de estaciones hidrometeorológicas para mejorar la información disponible, presentando en el objetivo general y específicos del estudio, incluyendo la evaluación de estaciones actuales, la definición de criterios de diseño, y la realización de estudios sociales, ambientales y económicos.

Capítulo 2 “Estado del Arte y la Práctica”: Se revisan investigaciones previas relevantes para el diseño de la red hidrometeorológica, cubriendo estudios sobre vulnerabilidad a inundaciones, optimización de redes mediante SIG, y uso de análisis multicriterio para la gestión territorial, también se aborda la fundamentación legal, analizando la legislación relacionada con la gestión de recursos hídricos, y se desarrolla la

fundamentación teórica sobre redes hidrometeorológicas, estaciones meteorológicas e hidrométricas, y la aplicación de técnicas como el polígono de Thiessen.

Capítulo 3 “Diseño Metodológico”: Aquí se detalla la metodológico para el diseño de la red hidrometeorológica. Incluye un análisis geográfico de la subcuenca del río Puyo, considerando ubicación, clima, hidrografía, orografía, y población. Se describe la información brindada por el GADPPz, análisis de datos geospaciales, la estimación del número de estaciones necesarias, la selección de sitios de implantación, la categorización del área de estudio, definición de parámetros de monitoreo, aspectos técnicos-funcionales como los parámetros considerados para el estudios sociales, ambientales y económicos.

Capítulo 4 “Análisis y Discusión de los Resultados”: Se presentan los resultados del análisis de la red hidrometeorológica propuesta. Se evalúa el estado actual de las estaciones y se propone el diseño de la red basado en criterios técnicos y de accesibilidad, también, se discuten los impactos económicos, sociales y ambientales de la implementación de la red, y se analiza la efectividad del diseño para mejorar la gestión de crecidas e inundaciones en la subcuenca del río Puyo.

Capítulo 5 “Marco Propositivo, Conclusiones y Recomendaciones”: Se resumen los principales hallazgos del estudio, detallando las acciones necesarias para la implementación de la red hidrometeorológica, propuestas para la instalación, mantenimiento y gestión de la red, evaluando el impacto de la red hidrometeorológica en la gestión de recursos hídricos en la subcuenca del río Puyo, ofreciendo una conclusión sobre la situación actual, red propuesta, viabilidad ambiental, económica y social del proyecto, proponiendo recomendaciones para asegurar la sostenibilidad, eficacia del proyecto a largo plazo, enfoque en la mejora continua y la adaptación a cambios ambientales y sociales.



## Capítulo 1

### Generalidades

#### 1.1 Planteamiento del problema

Actualmente Ecuador tiene una escasez de información hidrometeorológica que dificulta el análisis estadístico debido a la calidad limitada de los datos, especialmente en los últimos años, lo que afecta la gestión de los recursos hídricos y la planificación del desarrollo (Portalanza et al., 2024). La provincia de Pastaza no es la excepción, en el GADPPz, trabaja para que este recurso hídrico se preserve para las futuras generaciones y también para cumplir con lo establecido en la. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014), el cual indica que los gobiernos autónomos descentralizados regionales, implementarán el plan de manejo de cuencas, subcuencas y microcuencas.

Por otra parte, la (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014) en las disposiciones preliminares en los capítulos de los principios manifiesta que los recursos hídricos son parte del patrimonio natural, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los gobiernos autónomos descentralizados. Con el fin de cumplir con el marco jurídico del estado Ecuatoriano, es esencial mejorar la disponibilidad de información mediante el establecimiento de una base de datos confiable, oportuna y accesible, , que sirva como una herramienta fundamental para la gestión del recurso hídrico facilitando así, la toma de decisiones en la provincia de Pastaza.

Se determinó diseñar un red de estaciones hidrometeorológicas para cubrir las necesidades de información que existe en la subcuenca del río Puyo, en este proyecto, se realizará una evaluación de la cantidad y el estado de las estaciones hidrometeorológicas que operan en la subcuenca del río Puyo, se generará una propuesta de red de estaciones

hidrometeorológicas y se llevará a cabo un estudio social, ambiental y económico para la sustentabilidad del proyecto.

## **1.2 Justificación de la Investigación**

Debido a la escasez y baja calidad de datos hidrometeorológicos confiables en Ecuador, situación que se refleja especialmente en la subcuenca del río Puyo, ubicada en la provincia de Pastaza, esta carencia de información adecuada y oportuna dificultaba la gestión eficiente de los recursos hídricos y la planificación para la prevención de desastres naturales, tales como crecidas e inundaciones. (Lalangui & Méndez Taco, 2020). El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, comprometido con la conservación de las cuencas hidrográficas para garantizar el abastecimiento de agua para las generaciones presentes y futuras, se ha identificado la necesidad de establecer una red de estaciones hidrometeorológicas que permitiera un monitoreo continuo y efectivo (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021).

El diseño e implementación de esta red no solo busca cubrir las necesidades de información en la subcuenca del río Puyo, si no también establecer una herramienta crucial para la emisión de alertas tempranas frente a eventos hidrometeorológicos extremos, la recopilación de datos precisos y en tiempo real incrementará de manera significativa la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia, contribuyendo a la reducción de riesgos, protección de la población y el medio ambiente. (Lalangui & Méndez Taco, 2020; Organización Mundial Meteorológica, 2023).

Además, la investigación incluía un componente importante de evaluación social, ambiental y económica, lo cual permitía garantizar la sustentabilidad del proyecto, la implementación de esta red de estaciones hidrometeorológicas se alineaba con las disposiciones legales ecuatorianas del (COOTAD) y la (LORHUyA) que establecen la

obligación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales de implementar planes de manejo de cuencas y subcuencas.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

- Analizar y Diseñar la Red de Estaciones Hidrometeorológicas para el monitoreo y prevención de crecidas e inundaciones, en la subcuenca del río Puyo.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Evaluar y diagnosticar el estado de las estaciones hidrometeorológicas que operan en la subcuenca actualmente.
- Definir los criterios técnicos y funcionales de diseño de una red meteorológica e hidrométrica.
- Realizar un estudio social, ambiental y económico de la red de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca del río Puyo.

## Capítulo 2

### Estado del Arte y la Práctica

#### 2.1 Antecedentes Investigativos

El estudio titulado " Determinación de la zona vulnerable a inundación del río Puyo" realizado por Luis Fernando Lalangui y Diana Méndez Taco en el año 2020, tuvo como objetivo identificar las zonas vulnerables a inundaciones en el área del río Puyo, para ello, se emplearon análisis de la litología y la capacidad de permeabilidad del suelo, complementado con el método de Thornthwaite para determinar los meses de mayor precipitación, y el método de Mora & Varhson para identificar las zonas más propensas a inundaciones. Los hallazgos indicaron que la zona más vulnerable es un sector conocido como "La Isla", que presenta características de acuitardo, es decir, alta porosidad, pero baja permeabilidad, lo que contribuye a un mayor riesgo de inundaciones durante los meses de alta precipitación. (Lalangui & Méndez Taco, 2020).

La conclusión principal fue que "La Isla" es altamente susceptible a inundaciones, recomendándose la reubicación del asentamiento y la construcción de un muro de contención o la canalización del río para mitigar los riesgos, este estudio proporciona una base sólida para la ubicación de estaciones hidrométricas, al ofrecer un análisis detallado de los sitios vulnerables a inundaciones en relación con el río Puyo. (Lalangui & Méndez Taco, 2020).

El trabajo de investigación llamado "Optimización del Tiempo de Diseño en Redes de Distribución de Agua Potable mediante SIG", realizado por Diego Iván Sánchez Tapiero y Milanyeli Mendoza Valencia en el año 2021, tuvo como objetivo aplicar un sistema de información geográfica (SIG) para optimizar el tiempo de diseño en redes de distribución de agua Potable, Esto se logró mejorando la obtención de datos como elevaciones, áreas

aferentes y demanda base en los puntos de conexión del sistema. La metodología se dividió en tres fases: trazado de la red utilizando AutoCAD, implementación de SIG con ArcGIS 10.4, y simulación de la red con Epanet 2.0 y el método de polígonos de Thiessen. (Sánchez Tapiero & Mendoza Valencia, 2021).

Los hallazgos mostraron que la implementación de SIG permitió obtener datos de manera más rápida y precisa, facilitando la gestión, análisis de información georreferenciada, asegurando que los puntos de conexión y los diámetros de las tuberías cumplieran con las normativas de presión. La integración de SIG y software de modelado hidráulico optimizó el diseño y la operación de redes de distribución de agua potable, mejorando la calidad, precisión de los datos y reduciendo significativamente el tiempo de diseño. Este trabajo fue fundamental para la ubicación de las estaciones hidrometeorológicas, ya que se aplicó el método de polígonos de Thiessen en SIG, permitiendo analizar el área de cobertura de cada estación, evaluar el impacto ambiental y gestionar la red hidrometeorológica en la subcuenca del río Puyo. (Sánchez Tapiero & Mendoza Valencia, 2021).

El estudio titulado "Análisis de decisión multi-criterio, aportes para una gestión sostenible del territorio rural del Partido de Balcarce," realizado por Alejandra Auer, Paula Natinzon, Natalia Murillo, y Juan Carlos Manchado en el año 2020, tiene como objetivo analizar cuatro alternativas de uso del suelo en el Partido de Balcarce, provincia de Buenos Aires, Argentina, empleando un método de análisis de decisión multi-criterio para abordar la sostenibilidad del territorio rural. Utilizando un enfoque que evaluó nueve criterios de sostenibilidad, las preferencias de siete tomadores de decisiones con simulaciones y consultas a expertos, los hallazgos revelaron que una visión integral del territorio mostró los mejores resultados en la mayoría de los casos. (Auer et al., 2020).

La metodología resultó adecuada para la gestión rural, destacando la efectividad de una perspectiva integral para la sostenibilidad. Este estudio por su enfoque integral y multicriterio, proporcionando una herramienta valiosa para nuestro análisis del uso del suelo y para analizar los resultados del proceso de zonificación implementado en la red (Auer et al., 2020).

La investigación ambiental titulado "Consideraciones para la expansión demográfica ambientalmente sostenible mediante superposición difusa utilizando ArcGIS: caso estudio Neiva-Colombia," realizado por María Pulido Osorio, Diever Santanilla Quiñonez y Sergio Castro Hermosa en el año 2023, tuvo como objetivo desarrollar una metodología para identificar áreas adecuadas para la expansión urbana en Neiva, Colombia, sin comprometer la seguridad de la población ni el medio ambiente, utilizando lógica difusa y Sistemas de Información Geográfica (SIG). (Pulido et al., 2023).

La metodología incluyó la proyección del crecimiento poblacional, delimitación del área de estudio, la selección, reclasificación de criterios ambientales, y el análisis multicriterio (MCDA) con superposición difusa. Los resultados permitieron identificar zonas más apropiadas para la expansión urbana, basándose en criterios ambientales, y generar un mapa de aptitud. Se consideraron varios criterios de este trabajo en el estudio ambiental, añadiendo un análisis de la superficie con polígonos de Thiessen. (Pulido et al., 2023).

El estudio titulado "Diseño de una Red de Estaciones Hidrometeorológicas utilizando Análisis de Decisión Multicriterio y Técnicas GIS" tuvo como objetivo general determinar las ubicaciones óptimas para la implementación de estaciones hidrometeorológicas mediante el uso de análisis multicriterio y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Desarrollado por Theochari Aimilia Panagiota, Feloni

Elissavet, Bournas Apollon y Baltas Evangelos en el año 2021, el estudio empleó una metodología basada en la aplicación de análisis de decisión multicriterio (MCDM) y herramientas GIS para seleccionar las mejores ubicaciones, integrando criterios como la topografía, el uso del suelo, la accesibilidad y la cobertura espacial (A.-P. Theochari et al., 2019).

Los hallazgos identificaron áreas óptimas para la instalación de estaciones, destacando la importancia de una planificación estratégica basada en análisis multicriterio para maximizar la eficiencia y cobertura de la red. La conclusión principal fue que el uso de MCDM y GIS es efectivo para determinar ubicaciones óptimas, permitiendo una distribución estratégica y eficiente de las estaciones para una mejor capacidad de monitoreo. El aporte de este estudio para el diseño de la red hidrometeorológica en la subcuenca de río Puyo radica en su metodología, en los criterios de reclasificación del uso de suelo, pero enfocado en el método de zonificación. (A.-P. Theochari et al., 2019).

El estudio titulado "Calidad, confianza y participación en encuestas" de M.<sup>a</sup> Ángeles Cea D'Ancona explora la influencia de la calidad y la confianza en las encuestas influyen en la participación de los encuestados. El estudio emplea análisis discriminante y regresión logística binaria, el estudio interpreta datos de la encuesta de percepción social del Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS) de 2017. Se halló que la confianza en las encuestas depende principalmente de la utilidad percibida, la representatividad de la muestra y la validez de los datos, mientras que la calidad de la encuesta también influye en la participación, , aspectos como el tema de la encuesta y la disponibilidad de tiempo para responder tienen un impacto mayor (Cea D'Ancona, 2022).

Se concluye que tanto la calidad como la confianza en las encuestas son esenciales para asegurar la participación de los encuestados, con la percepción de utilidad destacándose

como un factor clave. Este estudio destaca por su enfoque en la realización de un estudio social como criterio para evaluar la aceptación del proyecto de res hidrometeorológica, aportando una perspectiva única sobre la relevancia de la percepción pública en la implementación de proyectos de investigación técnica. (Cea D'Ancona, 2022).

## **2.2 Fundamentación Legal**

### **2.2.1 *Legislación Nacional e Internacional***

La Constitución de la República del Ecuador (2008): En su Artículo 14, la Constitución reconoce el derecho de la población a un ambiente sano y equilibrado, justificando así la necesidad de establecer redes de monitoreo para prevenir desastres naturales. El Artículo 318 refuerza esta visión al declarar la gestión del agua como un asunto de interés público. Según el Artículo 396, el deber del Estado es proteger el medio ambiente, y en caso de daño ambiental, actuar de manera inmediata. El Artículo 403 reconoce y protege las áreas naturales como patrimonio natural, garantizando su conservación (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008).

Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992): Compromete a los países, en su Artículo 4, a promover y colaborar en la investigación sobre el cambio climático y sus efectos, incluyendo la variabilidad hidrológica y meteorológica. El Artículo 5 enfatiza la necesidad de sistemas de observación sistemática y redes hidrometeorológicas, subrayando su papel crucial para enfrentar los desafíos climáticos y garantizar una gestión adecuada de los recursos hídricos. (Naciones Unidas, 1992).

El Acuerdo de París del año 2015, en el Artículo 7, establece un marco global para mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a sus impactos. Destaca la gestión de recursos hídricos y la infraestructura del agua, promoviendo estrategias sostenibles y resilientes. Estas medidas son esenciales para enfrentar los desafíos climáticos y garantizar



la disponibilidad y calidad del agua para futuras generaciones, fortaleciendo la capacidad de recuperación y sostenibilidad de las comunidades (Naciones Unidas, 2015).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014): A través de su Artículo 29, declara la gestión integral de los recursos hídricos como de interés público, promoviendo el monitoreo continuo. El Artículo 65 obliga a las entidades competentes a establecer mecanismos de vigilancia y monitoreo, incluyendo redes hidrometeorológicas, para asegurar una gestión sostenible y equitativa del agua.(Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

Ley Orgánica Para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres del año 2024, en el Artículo 5, establece que las entidades responsables deben implementar mecanismos de prevención y mitigación de riesgos utilizando datos y sistemas de monitoreo. En el Artículo 8, establece la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) en la implementación de sistemas de alerta temprana basados en redes hidrometeorológicas. El Artículo 10 define las obligaciones de los GAD en la gestión de riesgos y la implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana, mejorando la resiliencia y seguridad de la población. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

### ***2.2.2 Responsabilidades del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (GADPPZ)***

EL Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización del año 2008, establece en el Artículo 57 que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) tienen competencias exclusivas en la gestión de recursos naturales dentro de su jurisdicción, lo que incluye la planificación y ejecución de proyectos de monitoreo hidrometeorológico. Además, el Artículo 84 define la responsabilidad de los GAD en la

prevención de riesgos y desastres, exigiendo la implementación de sistemas locales de alerta y monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019).

Estas competencias exclusivas permiten a los GAD adaptar y optimizar las estrategias de monitoreo y gestión de recursos naturales según las necesidades específicas de sus territorios, asegurando una respuesta más rápida y eficaz ante riesgos locales. La responsabilidad en la prevención de desastres subraya la importancia de contar con sistemas de alerta temprana robustos, que proporcionen información oportuna y precisa para proteger a las comunidades y minimizar los impactos de eventos hidrometeorológicos adversos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019).

Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres del 2012, en el Artículo 7, especifica que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) deben desarrollar e implementar sistemas de gestión de riesgos a nivel local, integrando redes hidrometeorológicas para la prevención y respuesta a emergencias. Esta integración permite a los GAD utilizar datos precisos y en tiempo real para anticipar y mitigar los efectos de eventos hidrometeorológicos adversos. Además, el Artículo 12 del mismo reglamento establece que los GAD tienen la responsabilidad de coordinar con entidades nacionales para la integración de datos y sistemas de alerta temprana. Esta coordinación asegura que la información y las alertas sean consistentes y efectivas a nivel nacional, facilitando una respuesta más cohesiva y coordinada ante emergencias y promoviendo una gestión integral de los riesgos a escala más amplia. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2024).

## **2.3 Fundamentación Teórica**

### **2.3.1 Red hidrometeorológica**

La (Organización Mundial Meteorológica, 2023). Indica que, la red hidrometeorológica es un sistema organizado, dinámico e integrado diseñado para la gestión

y análisis de datos relacionados con las variables hidrológicas y meteorológicas en una región específica. Este sistema incluye una variedad de elementos fundamentales:

- **Estaciones de Medición:** La red se compone de estaciones meteorológicas e hidrológicas situadas estratégicamente. Estas estaciones pueden ser operadas de manera manual o automatizada, y están equipadas con instrumentos para medir variables como precipitaciones, temperatura, humedad, caudal de ríos, entre otros.
- **Registro Continuo:** Los datos se registran de manera continua, asegurando una recopilación constante y precisa de la información necesaria para el análisis.
- **Transmisión y Comunicación de Datos:** Un sistema robusto de transmisión de datos asegura que la información recopilada por las estaciones se comunique eficientemente a la base central. Esto puede incluir tecnología de transmisión en tiempo real, redes de comunicación por satélite o sistemas de telecomunicaciones.
- **Base Central:** La base central es el núcleo del sistema donde se almacenan, procesan e interpretan los datos recopilados. Aquí se realizan análisis detallados y se generan informes que permiten la toma de decisiones informadas. Además, la base central difunde la información a las instituciones, organizaciones y al público, facilitando la gestión del riesgo y la planificación.
- **Protocolos y Estándares:** La red opera bajo protocolos y estándares de medición específicos que garantizan la precisión, consistencia y comparabilidad de los datos. Esto incluye la frecuencia de muestreo y los métodos de calibración de los equipos.
- **Personal Técnico y Administrativo:** Un equipo capacitado de personal técnico y administrativo es esencial para el funcionamiento de la red. Este personal se encarga del mantenimiento de los equipos, la validación de datos, el análisis de resultados y la gestión general del sistema. (Organización Mundial Meteorológica, 2023).

### 2.3.2 Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas son puntos especializados para la medición y observación de parámetros meteorológicos, adaptadas a los requerimientos específicos de una red meteorológica. Estas estaciones se clasifican en diferentes tipos, cada una con funciones y capacidades particulares. (Organización Mundial Meteorológica, 2023; Zúñiga & Crespo, 2015).

- **Estación Pluviométrica:** Este tipo de estación está equipada principalmente con un pluviómetro, un dispositivo diseñado para medir la cantidad de precipitación que cae entre dos mediciones consecutivas. La estación pluviométrica se centra en la recopilación de datos sobre la lluvia, proporcionando información crucial para el análisis de patrones de precipitación y la gestión de recursos hídricos. (Organización Mundial Meteorológica, 2017).
- **Estación Climatológica Principal:** Las estaciones climatológicas principales están diseñadas para realizar observaciones detalladas del tiempo atmosférico. Estas estaciones miden una amplia gama de parámetros, incluyendo la cantidad de precipitación, visibilidad, temperatura del aire, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar, evaporación y fenómenos especiales. Generalmente, las observaciones se realizan tres veces al día, ofreciendo un panorama completo y actualizado del estado del tiempo. (Zúñiga & Crespo, 2015).
- **Estación Climatológica Ordinaria:** Las estaciones climatológicas ordinarias se enfocan en medir parámetros básicos como la precipitación y la temperatura del aire. Aunque su equipamiento puede ser menos extenso que el de una estación climatológica principal, pueden incluir algunos otros parámetros adicionales, proporcionando datos esenciales para el análisis climático (Zúñiga & Crespo, 2015).

- **Estación Sinóptica Principal:** Las estaciones sinópticas principales están diseñadas para realizar observaciones exhaustivas de los principales elementos meteorológicos a horas convenidas internacionalmente. Los datos que se recopilan incluyen nubosidad, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitación, temperaturas extremas, capa significativa de nubes, recorrido del viento y secuencia de fenómenos atmosféricos. Esta información es codificada y compartida globalmente para alimentar modelos de pronóstico y para el servicio de la aviación. (Agarwal et al., 2020).
- **Estación Sinóptica Suplementaria:** Similar a la estación sinóptica principal, la estación sinóptica suplementaria realiza observaciones a horas convenidas internacionalmente, pero con un enfoque más limitado. Los parámetros medidos comúnmente incluyen visibilidad, fenómenos especiales, tiempo atmosférico, nubosidad, estado del suelo, precipitaciones, temperatura y humedad del aire, y viento. Esta información complementa los datos proporcionados por las estaciones sinópticas principales (Agarwal et al., 2020).
- **Estación Agrometeorológica:** Las estaciones agrometeorológicas se especializan en el estudio de la relación entre el clima y los procesos biológicos de plantas y animales. Además de las observaciones típicas de una estación climatológica principal, las estaciones agrometeorológicas registran temperaturas a varias profundidades del suelo (hasta un metro) y en capas cercanas al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo). También incluyen observaciones fenológicas y otros datos relevantes para comprender cómo el clima afecta a la vida vegetal y animal. (Organización Mundial Meteorológica, 2023).

### 2.3.3 Estaciones Hidrométricas

Según la (Organización Mundial Meteorológica, 2020). Las estaciones hidrométricas son instalaciones diseñadas para la medición y el análisis de diversas características de cuerpos de agua, como ríos, lagos o embalses, estas estaciones proporcionan datos fundamentales sobre elementos como el nivel del agua, el caudal, la velocidad de flujo, el transporte y depósito de sedimentos, la temperatura del agua, y otras propiedades físicas y químicas del agua. Además, algunas estaciones monitorizan características de la capa de hielo.

Las estaciones hidrométricas se pueden clasificar en dos tipos principales:

- **Estaciones Limnimétricas:** Estas estaciones tradicionales utilizan una regla graduada para determinar los caudales mediante lecturas periódicas realizadas por un observador. A través de mediciones manuales del nivel del agua, y aplicando técnicas de calibración, se obtiene el caudal correspondiente. Aunque útiles, las estaciones limnimétricas requieren una supervisión constante y pueden ser menos precisas que las tecnologías más recientes.
- **Sensores Automáticos:** Estas estaciones más modernas han sustituido en gran medida a las limnimétricas. Utilizan sensores automáticos para medir niveles, caudales y otros parámetros adicionales. Estos dispositivos incluyen registradores continuos computarizados, conocidos como data loggers, que acumulan y almacenan los datos de manera automática. Los sensores automáticos proporcionan una medición continua y precisa, reduciendo la necesidad de intervención manual.

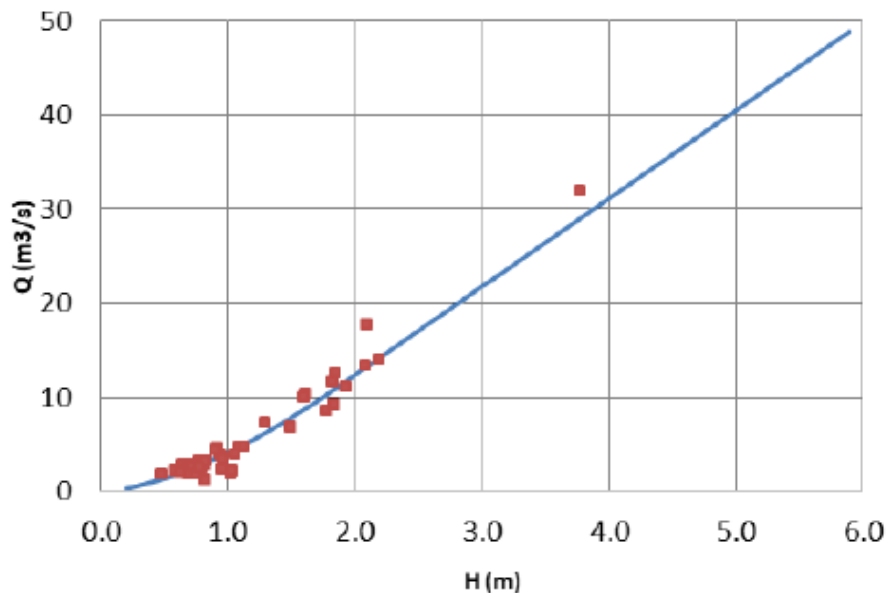
(Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023). Según la (Marcillo et al., 2021).

Para interpretar los datos obtenidos en las estaciones hidrométricas, se emplea una curva de calibración o curva de descarga, esta curva se basa en una ecuación matemática que relaciona

el caudal ( $Q$ ) con el nivel del agua o calado ( $H$ ), ajustada por parámetros específicos ( $K$  y  $b$ ). Generando la curva de descarga, como se muestra en la figura 1, permite calcular el caudal a partir del nivel del agua y construir hidrogramas a partir de limnigramas, proporcionando una herramienta esencial para la gestión de recursos hídricos y la predicción de eventos (Marcillo et al., 2021).

**Figura 1**

*Caudal  $Q$  ( $m^3/s$ ) vs Nivel del Agua o Calado  $H$  (m)*



*Fuente:*(Marcillo et al., 2021)

Además, la (Organización Mundial Meteorológica, 2017). Indica que, para obtener una visión completa del comportamiento hidrológico, se determinan sitios de medición a lo largo de un curso de agua, en estos sitios se observa el caudal, que se expresa en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) o litros por segundo ( $l/s$ ) para magnitudes menores; la velocidad de flujo, que indica la rapidez con que el agua se mueve; y el nivel del agua, que es la altura de la superficie del agua en relación con un origen de referencia topográfico o al nivel medio del mar, la medición del nivel de agua se realiza mediante instrumentos como la mira

hidrométrica o limnómetro, maxímetro y limnicontacto, en observaciones directas y continuas.

#### ***2.3.4 Polígono de Thiessen***

El polígono de Thiessen es una técnica fundamental en el diseño y análisis de redes hidrometeorológicas, especialmente en el contexto de la estimación de la precipitación promedio en una cuenca hidrográfica. Este método geométrico asigna áreas de influencia a cada estación de medición de precipitación mediante la creación de polígonos que se forman al trazar mediatrices perpendiculares a las líneas que unen las estaciones más cercanas. Estos polígonos permiten una distribución equitativa de las áreas de medición, garantizando que cada estación represente adecuadamente la variabilidad espacial de la precipitación dentro de su zona de influencia. (Sánchez & Mendoza, 2021). En el diseño de una red hidrometeorológica, la poligonación de Thiessen facilita la identificación de áreas, permitiendo así la optimización de la ubicación de nuevas estaciones meteorológicas para mejorar la cobertura espacial y la precisión de los datos recopilados.

Este enfoque es crucial para el análisis hidrológico y la modelación de eventos extremos, como inundaciones, ya que asegura que los datos reflejen de manera precisa las condiciones meteorológicas de toda la cuenca. A pesar de su simplicidad y eficiencia, es importante considerar las limitaciones del método, como la suposición de una distribución uniforme de las estaciones y la posible disminución de la precisión en cuencas con alta variabilidad topográfica y climática. En resumen, la poligonación de Thiessen es una herramienta esencial para la gestión de redes hidrometeorológicas, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la planificación y prevención de desastres naturales (Organización Mundial Meteorológica, 2017).



### 2.3.5 *Categorización del Área de Estudio*

Es un proceso fundamental en la planificación y diseño de redes hidrometeorológicas, ya que permite clasificar el territorio en función de características específicas que afectan su capacidad para soportar diversas actividades y fenómenos naturales. En el contexto de una red hidrometeorológica, la categorización ayuda a identificar zonas prioritarias para la instalación de estaciones de monitoreo, así como áreas que requieren medidas especiales de protección o intervención. Los métodos más utilizados para esta categorización incluyen la Zonificación Funcional y la Evaluación Multicriterio (EMC) (A. Theochari et al., 2019; Zúñiga & Crespo, 2015).

- **Zonificación Funcional:** Es un método que organiza el territorio en distintas zonas de uso, basándose en la funcionalidad y el propósito específico de cada área. En el ámbito de una red hidrometeorológica, este método clasifica el terreno en zonas como residenciales, agrícolas, industriales, y de conservación, entre otras. Esta categorización facilita la identificación de ubicaciones óptimas para las estaciones de monitoreo y garantiza que el desarrollo y la instalación de la red sean compatibles con los usos actuales del suelo. La Zonificación Funcional permite evitar conflictos entre diferentes usos del suelo y asegura que las estaciones se ubiquen en áreas donde su impacto sea mínimo y su eficacia máxima de igual forma este método es recomendado para estudio socioeconómico y ambiental (Sánchez & Mendoza, 2021).
- **Evaluación Multicriterio (EMC):** Es un método integral que considera múltiples factores y criterios para evaluar y categorizar áreas. Este enfoque es especialmente valioso para proyectos complejos como el diseño de una red hidrometeorológica, donde se deben equilibrar aspectos ambientales, técnicos, económicos y sociales. La EMC implica la definición de criterios relevantes, como la susceptibilidad a inundaciones, la

accesibilidad, el costo de instalación y el impacto ambiental, así como la asignación de pesos a cada uno de estos factores. Al combinar estos criterios y evaluarlos en función de sus ponderaciones, la EMC proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas sobre la ubicación de las estaciones de monitoreo, optimizando su efectividad y sostenibilidad. (Theochari et al., 2019; Zhiña et al., 2022).

### 2.3.5.1 Variables de estudio de una red hidrometeorológica

Las variables de estudio son parámetros clave que se monitorean para evaluar y comprender las condiciones atmosféricas y los fenómenos hidrológicos que afectan un área específica. Estas variables proporcionan datos esenciales para la predicción del clima, la gestión del agua y la prevención de desastres naturales, como inundaciones y sequías. Cada variable ofrece información sobre diferentes aspectos del entorno, facilitando un análisis detallado y una toma de decisiones más precisa. (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023). Describen algunas de las principales variables de estudio en una red hidrometeorológica:

- **Precipitación:** Cantidad de agua que cae desde la atmósfera en forma de lluvia, nieve, aguanieve o granizo, medida en milímetros (mm). La precipitación es crucial para evaluar los recursos hídricos y el riesgo de inundaciones, proporcionando datos sobre la cantidad total de agua que llega a la superficie terrestre.
- **Temperatura del Aire:** Medida de la cantidad de calor en la atmósfera, expresada en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F). La temperatura del aire es fundamental para entender los patrones climáticos y su impacto en la evaporación y el ciclo del agua.
- **Humedad Relativa:** Porcentaje de vapor de agua presente en el aire en comparación con la cantidad máxima que el aire puede contener a una temperatura dada. La humedad

relativa indica el grado de saturación del aire, influyendo en la previsión del tiempo y el confort climático.

- **Presión Atmosférica:** Fuerza ejercida por el peso de la columna de aire sobre una unidad de área, medida en hectopascales (hPa) o milibares (mb). La presión atmosférica es un indicador clave para la predicción de sistemas meteorológicos y fenómenos climáticos.
- **Velocidad del Viento:** Rapidez con la que el aire se mueve en una dirección específica, medida en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h). La velocidad del viento afecta el transporte de humedad, la erosión del suelo y el diseño de infraestructuras.
- **Dirección del Viento:** Orientación desde la cual sopla el viento, expresada en grados o puntos cardinales. La dirección del viento es importante para evaluar la dispersión de contaminantes y los patrones meteorológicos.
- **Radiación Solar:** Cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre, medida en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La radiación solar es esencial para el estudio del balance energético de la Tierra y los procesos relacionados con la fotosíntesis.
- **Evaporación:** Cantidad de agua que se convierte en vapor y pasa a la atmósfera desde la superficie terrestre, medida en milímetros por día (mm/día). La evaporación es un componente clave del ciclo hidrológico y afecta la disponibilidad de agua y los patrones climáticos.
- **Humedad del Suelo:** Cantidad de agua contenida en el suelo, expresada en porcentaje del volumen total del suelo. La humedad del suelo es relevante para la gestión agrícola, la previsión de sequías y la estabilidad del suelo.

- **Nivel del Agua:** Profundidad del agua en cuerpos de agua como ríos, lagos o embalses, medida en metros (m). El nivel del agua es crucial para la gestión de recursos hídricos y la prevención de inundaciones.
- **Sedimento:** Partículas sólidas que se encuentran en suspensión en el agua o que se depositan en el fondo de cuerpos de agua. Los sedimentos pueden influir en la calidad del agua, la capacidad de almacenamiento en embalses y la salud de los ecosistemas acuáticos.
- **Calidad del Agua:** Características químicas, físicas y biológicas del agua que determinan su idoneidad para diversos usos. La calidad del agua se evalúa mediante parámetros como el pH, la turbidez, la concentración de nutrientes y contaminantes, y es esencial para asegurar su seguridad para el consumo y su impacto ecológico. (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023).

### **2.3.6 Estudio económico**

El (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2024; Organización Mundial Meteorológica, 1990). Menciona que, para realizar un estudio económico en una red hidrometeorológica es crucial determinar los objetivos específicos del monitoreo, como las variables a medir y la precisión requerida, la cobertura geográfica también debe ser establecida, especificando cuántos puntos de monitoreo se necesitan y sus ubicaciones. Además, se debe seleccionar la tecnología y el equipamiento adecuados, lo que incluye los tipos de sensores y estaciones meteorológicas a utilizar para poder determinar los costos y beneficio que se puede obtener.

- **Costos:** El análisis de costos debe abordar varias categorías, los costos iniciales incluyen la adquisición de equipos, la instalación de las estaciones y la infraestructura necesaria, así como la capacitación del personal para operar y mantener el sistema, los

costos operativos abarcan el mantenimiento regular de los equipos, el consumo de energía y los sueldos del personal encargado. También es importante considerar los costos asociados con la actualización de la tecnología para mantener la red al día con los avances y estándares actuales.

- **Beneficios:** Los beneficios directos de la red hidrometeorológica son significativos. La gestión del agua se optimiza gracias a la obtención de datos precisos y en tiempo real, y se reduce el riesgo de desastres naturales mediante la previsión de eventos climáticos extremos. Además, los datos recopilados tienen un gran valor para la investigación y el desarrollo tecnológico. Entre los beneficios indirectos se encuentran la mejora de la seguridad pública y la reducción de pérdidas económicas debido a fenómenos climáticos adversos, así como el apoyo al desarrollo sostenible a través de una mejor planificación urbana y rural.
- **Análisis Costo-Beneficio:** El análisis costo-beneficio es crucial para evaluar la viabilidad económica. Para este tipo de proyecto el costo-beneficio oscila entre 3 a 10. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2024; Organización Mundial Meteorológica, 1990, 2023).

### ***2.3.7 Estudio ambiental***

Un estudio ambiental de una red hidrometeorológica investiga cómo la implementación y funcionamiento de dicha red afectan el entorno natural y humano. Este análisis comienza con una descripción detallada de la red, se evalúa el impacto ambiental que la infraestructura podría tener en la vegetación, el suelo y el hábitat local. El estudio asegura el cumplimiento de las normativas ambientales locales y nacionales para la instalación. Se emplean métodos tanto cuantitativos como cualitativos para recolectar y analizar datos, comparando la situación antes y después de la instalación. Finalmente, se

elabora un informe que resume los hallazgos, describe el impacto observado y propone recomendaciones para minimizar efectos negativos, con el objetivo de mantener la sostenibilidad y eficacia de la red en la recolección de datos ambientales. (Pulido et al., 2023; Sánchez & Mendoza, 2021).

### **2.3.8 Estudio Social**

El estudio social de una red hidrometeorológica se centra en comprender cómo una red que supervisa aspectos como la precipitación, la humedad, la temperatura, el caudal de ríos, entre otros, impacta a las comunidades y cómo estas a su vez influyen en la red. Este estudio examina cómo los datos generados afectan la vida cotidiana, la gestión de recursos y las decisiones tomadas, además de identificar quiénes se benefician y quiénes se ven afectados. Se analiza la percepción y el uso de la información por parte de las comunidades, la equidad en el acceso a los datos y los esfuerzos realizados en educación y capacitación. También se considera cómo esta información influye en la agricultura, la ganadería y la gestión del agua, y se evalúa la participación comunitaria en el monitoreo y la retroalimentación para mejorar el sistema. (Alaminos, 2023).

El estudio enfrenta desafíos como la limitación de recursos y el mantenimiento. La metodología puede incluir encuestas, entrevistas y análisis de datos para ofrecer una visión integral del impacto social de la red hidrometeorológica. (Alaminos, 2023; Gómez, 2020)

- **Encuesta:** Son esenciales para proporcionar datos cuantitativos sobre la percepción y el uso de la información por parte de los usuarios. Estas encuestas permiten evaluar cómo diversos grupos en la comunidad acceden a la información, en qué medida la utilizan para tomar decisiones y qué áreas requieren mejoras. La recopilación sistemática de estas respuestas ayuda a identificar patrones y tendencias, así como a evaluar el impacto general de la red en diferentes contextos sociales y económicos.

- **Entrevista:** Este método proporciona una comprensión más detallada y profunda de las experiencias individuales. A través de conversaciones directas con usuarios y gestores de la red, se pueden explorar percepciones subjetivas, desafíos específicos y sugerencias de mejora que a menudo no se capturan en encuestas. Este enfoque cualitativo ofrece una visión más rica y matizada de cómo la red afecta la vida diaria y cómo puede mejorarse para satisfacer mejor las necesidades de las comunidades.
- **Análisis de Datos:** Es crucial para interpretar la información recogida a través de encuestas y entrevistas. Este proceso implica la integración y comparación de datos cuantitativos y cualitativos para identificar patrones, tendencias y relaciones significativas. Los datos cuantitativos obtenidos de las encuestas se examinan mediante métodos estadísticos para evaluar el alcance del uso y la percepción de la información hidrometeorológica. Por otro lado, la información cualitativa de las entrevistas se codifica y analiza para identificar temas recurrentes y perspectivas profundas. Juntas, estas metodologías proporcionan una visión completa del impacto social de la red, permitiendo identificar áreas de mejora y formular recomendaciones basadas en evidencia para optimizar su funcionamiento y efectividad en beneficio de la comunidad. (Alaminos, 2023; Gómez, 2020; Hernández et al., 2010).

#### 2.4 Fundamentación de los criterios para el Diseño

El diseño de redes hidrometeorológicas, basado en la literatura temática y la experiencia con sistemas de información meteorológica e hidrológica, debe considerar una serie de aspectos cruciales. Estos incluyen factores técnicos, económicos, socio-culturales, condiciones físicas del entorno, y aspectos geográficos, entre otros. La complejidad de definir los sitios de medición y los parámetros a medir aumenta debido a estas múltiples variables.

Para abordar el desafío del diseño de una red hidrometeorológica, es esencial considerar una serie de preguntas clave. Primero, es necesario definir el objetivo principal de la red y el enfoque que guiará el diseño, ya que esto determinará el tipo de parámetros a medir. Se debe establecer la cantidad mínima de puntos de medición necesarios para garantizar una representación adecuada de los datos, así como su ubicación estratégica. La decisión sobre si todas las estaciones deben ser automáticas y operar en tiempo real también es crucial, junto con la frecuencia de registro de los datos. Además, se debe definir la duración de operación de la red y los métodos de transferencia de datos a la central. Finalmente, es importante decidir qué técnicas analíticas se utilizarán para procesar e interpretar los datos recopilados. (Organización Mundial Meteorológica, 2017, 2020, 2023).

Responder a estas preguntas no es sencillo y requiere un proceso de análisis durante la implementación del proyecto, considerando las necesidades de información zona por zona. Este análisis debe basarse en información científica como es. (Felsoni et al., 2018; Theochari et al., 2019; Zhiña et al., 2022). Experiencia, conocimientos de expertos y demandas locales. El diseño de redes meteorológicas e hidrométricas debe fundamentarse en dos tipos de criterios:

#### ***2.4.1 Criterios Funcionales***

Parte principalmente de los objetivos de monitoreo, es decir, lo que se desea conocer. Por ejemplo, si a largo plazo se busca estimar la oferta hídrica de la subcuenca, establecer balances hídricos, calcular índices de escasez y vulnerabilidad del recurso, implementar sistemas de alerta temprana o regular caudales en sistemas de riego, la red debe diseñarse teniendo en cuenta la subcuenca hidrográfica. Para ello, el diseño de una red hidrométrica puede considerar la instalación de equipos en los principales cuerpos de agua de la zona de estudio o en las principales unidades hidrográficas de interés, posiblemente



basándose en la variabilidad de caudales. El proceso de diseño debe iniciar con una consideración de cómo y para qué se utilizará la información. (Organización Mundial Meteorológica, 2017).

Las ubicaciones río arriba o río abajo de represas o desviaciones son útiles por motivos distintos: una ubicación río arriba representa la integración del proceso de escorrentía que ocurre en la cuenca contribuyente, mientras que una ubicación río abajo proporciona más información sobre lo que sucederá en los ecosistemas acuáticos y ribereños receptores. Los aspectos de seguridad en este tipo de red son más complejos que en la red meteorológica, ya que al estar situadas en ríos o quebradas, pueden ser más susceptibles al vandalismo, lo que hace necesario adoptar las medidas de seguridad adecuadas. (Agarwal et al., 2020; Organización Mundial Meteorológica, 2023).

#### **2.4.2 Criterios Técnicos**

Para determinar el emplazamiento de una estación meteorológica o hidrométrica en la subcuenca del río Puyo, es crucial definir claramente los objetivos de las mediciones como indica la. (Organización Mundial Meteorológica, 2023). Si solo se busca recopilar estadísticas para proyectos de ingeniería, bastará con instalar medidores de precipitación, nivel o caudal. Con base en esta consideración, el objetivo de este estudio es identificar sitios estratégicos para la ubicación de estaciones hidrológicas, hidrométricas, pluviométricas y meteorológicas, para ello, se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

- **Tipo de estación:** En la subcuenca del río Puyo, es esencial determinar qué información se desea obtener. Si se requieren solo mediciones de precipitaciones y caudales, se puede utilizar tecnología específica disponible en el mercado, no obstante, para un análisis más completo, se deberían considerar también otros parámetros adicionales.

- Densidad: El número de estaciones meteorológica e hidrométricas a instalar en la subcuenca del río Puyo dependerá de los objetivos de medición y del presupuesto disponible. La (Organización Mundial Meteorológica, 2020). Sugiere una densidad basada en la topografía de la zona de estudio, pero estas recomendaciones pueden no ser adecuadas para caracterizar amenazas locales de inundaciones o para guiar la gestión del suministro de agua a nivel local como se muestra en la tabla 1

**Tabla 1***Densidad por Estación (superficie km<sup>2</sup>)*

Unidad Fisiográfica	Precipitación		Evaporación	Flujo fluvial	Sedimentación	Calidad del agua
	No registradas	registradas				
Costa	900	9000	50000	2750	18300	55000
Montaña	250	2500	50000	1000	6700	20000
Planicie inferior	575	5750	5000	1875	12500	37500
Montes/ Ondulaciones	575	5750	50000	1875	12500	47500
Islas pequeñas	25	250	50000	300	2000	6000
Áreas urbanas	---	10 a 20	----	---	----	----
Polos/tierras áridas	10000	100000	100000	20000	200000	200000

*Nota.* Se muestra una tabla con los valores mínimos recomendados por cada estación según la. (Organización Mundial Meteorológica, 2020).

Por lo tanto, es crucial analizar la subcuenca. Los estudios de, (Lalangui & Méndez Taco, 2020; Villalba et al., 2017). indican que, la subcuenca del río Puyo abarca una superficie de 352 km<sup>2</sup> entre zona montañosa y llanura, para el diseño de una red hidrometeorológica que considera áreas propensas a inundaciones, con esta información se sugiere una distribución en un rango de 25 km<sup>2</sup> a 50 km<sup>2</sup>, dependiendo de las características específicas de la subcuenca. Mientras que, para las estaciones hidrométricas, se sigue el criterio de la. (Organización Mundial Meteorológica, 2020). que recomienda colocar una estación hidrométrica cada 10 km<sup>2</sup> en cuencas pequeñas. Se analizan los puntos de inundación, extracción de agua para riego y áreas inundables. Para esto, se estudió la subcuenca en relación con la red hídrica, el sector agrícola y los lugares de inundación, considerando el trabajo de. (Villalba et al., 2017), que identifica los puntos de inundación.

- **Representatividad:** Para asegurar que los datos obtenidos sean escalables y representativos, los medidores en la subcuenca del río Puyo deben situarse a lo largo de la variabilidad geofísica de la subcuenca. Si el objetivo principal es medir caudales, es recomendable elegir sitios antes de las confluencias de los ríos. (Organización Mundial Meteorológica, 2023).

#### **2.4.2.1 Accesibilidad**

Se considera la Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicas. (Organización Mundial Meteorológica, 2023). La cual señala que, las estaciones hidrométricas en la subcuenca del río Puyo sean accesibles, aunque la comunicación de datos se realice en tiempo real, estas estaciones también requieren mantenimiento, debido a la complejidad de los sitios necesarios para obtener la información requerida, el acceso puede ser limitado y en muchos casos requerirá llegar a pie por zonas escarpadas, sin embargo, no

deben ser completamente inaccesibles para asegurar un mantenimiento adecuado, es por ello que para el diseño de red hidrometeorológica se considera las siguientes variables:

- **Factores Topográficos:** Se analizaron diversos factores topográficos, asignando valores negativos a las ubicaciones con una inclinación menor al 5%. Se estableció un gradiente positivo para áreas más planas. Se evaluaron múltiples factores para asignar mayor importancia a diferentes rangos altitudinales.
- **Morfología de los Alrededores:** Se priorizaron las ubicaciones que abarcan grandes áreas y ofrecen buena visibilidad de los alrededores, favoreciendo lugares con una amplia cobertura territorial.
- **Presencia de Obstáculos:** Las ubicaciones se alejaron de carreteras, zonas urbanas, líneas de alta tensión y áreas inundables. Los datos se adaptaron para visualizar estos obstáculos y asegurar que las estaciones estén ubicadas en lugares adecuados.
- **Suelo y Vegetación:** Se descartaron cenagales y suelos impracticables. Se evitó, en la medida de lo posible, la proximidad de árboles, aunque se reconoció la dificultad de lograrlo con alta fiabilidad.
- **Albedo y Radiación Solar/Nubosidad:** No se consideraron el albedo ni la radiación solar debido a la falta de material de calidad suficiente, como fotografías aéreas u ortofotos corregidas y actualizadas.
- **Edificaciones:** Se eliminaron las zonas urbanizadas y, mediante zonificación de áreas de influencia, se descartaron ubicaciones hasta 200 metros de zonas susceptibles de urbanización.
- **Seguridad:** Las variables de seguridad se ajustaron hasta donde fue posible con los datos disponibles, priorizando ubicaciones seguras para las estaciones.

- **Accesos:** Cada estación debía situarse a menos de 200 metros de una carretera pavimentada para asegurar un fácil acceso.
- **Área de Protección:** Las estaciones se debían colocar siguiendo criterios de localización específicos que consideraran factores ambientales, la experiencia de los instaladores y el trabajo de campo, siendo estos los aspectos más importantes para la ubicación precisa.
- **Mantenimiento:** La proximidad a áreas habitadas se estableció como un factor crucial, asegurando que las estaciones estuvieran cerca de usuarios potenciales para facilitar el mantenimiento. (Organización Mundial Meteorológica, 2017, 2023; Zúñiga & Crespo, 2015).

#### 2.4.2.2 Definición de parámetros a controlar

La selección de parámetros a medir en una red hidrometeorológica requiere un análisis detallado, ya que la elección dependerá tanto de las variables específicas que se desean monitorear como de las características del sitio donde se ubicará la estación. (Organización Mundial Meteorológica, 2023). En el caso de la red que se implementará en la cuenca del río Puyo, donde se encuentran sectores con alta variabilidad climática, es fundamental que las estaciones sean lo más completas posible, esto facilitará la comparación entre diferentes ubicaciones y proporcionará una visión más integral de las condiciones meteorológicas en una región con fluctuaciones climáticas significativas.

Sin embargo, el factor económico siempre actúa como una limitación significativa. Por lo tanto, es esencial considerar la variabilidad climática del área al decidir la configuración de la estación. En regiones con alta variabilidad climática (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023). Como las que se encuentran en la cuenca del río Puyo, se justifica la instalación de estaciones más completas que midan los ocho parámetros

básicos: precipitación, temperatura, humedad relativa, dirección, velocidad del viento, sedimentos, calidad del agua y el nivel del agua son relevantes para una evaluación completa de los fenómenos hidrológicos en esta región, también se deben incluir mediciones de estos parámetros.

## Capítulo

### Diseño Metodológico

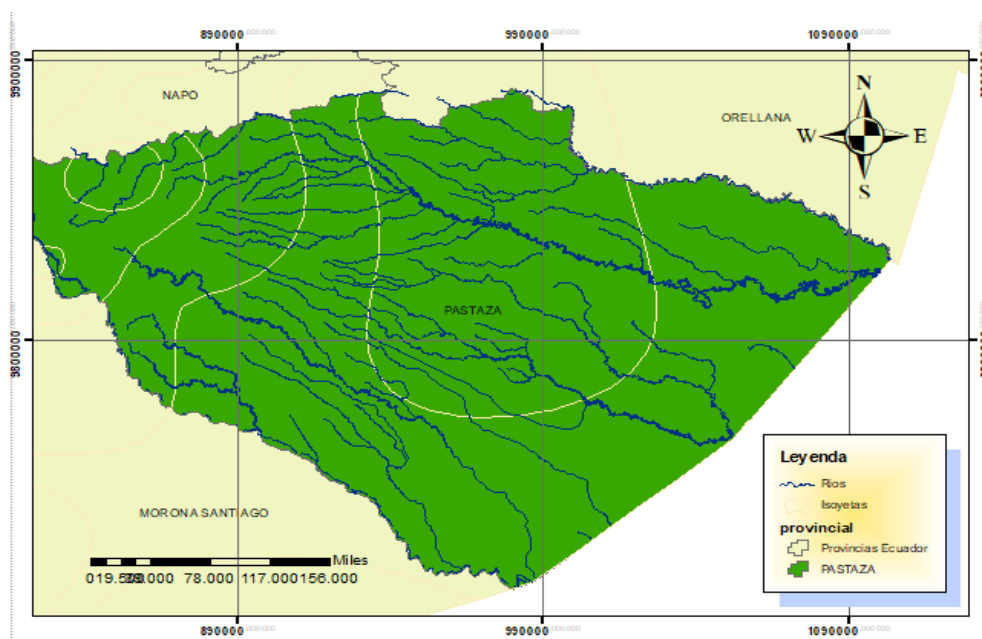
#### 3.1 Análisis del área de estudio

##### 3.1.1 Ubicación Geográfica

La provincia de Pastaza, ubicada en la región amazónica del Ecuador, limita al norte con Napo, al sur con Morona Santiago, al este con Sucumbíos y al oeste con Tungurahua, como se muestra en la figura 2. Dentro de esta provincia, la subcuenca del río Puyo se sitúa en una posición central, extendiéndose desde el valle del río Puyo hacia áreas circundantes. Este río, que es el principal curso de agua de la subcuenca, forma parte del sistema fluvial del río Pastaza. La subcuenca abarca una diversidad de paisajes y características geográficas que son fundamentales para la dinámica hídrica de la región. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021).

#### Figura 2

*Ubicación Geográfica de la Provincia de Pastaza*



*Nota.* Ubicación de la provincia de Pastaza con sus principales ríos e isoyetas.

### 3.1.2 *Clima*

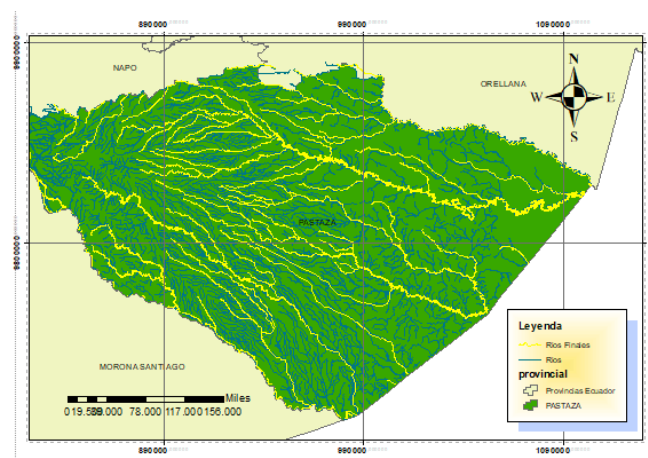
El clima en la región amazónica es tropical húmedo, con temperaturas medias que varían entre 20°C y 26°C durante todo el año, la zona recibe una alta cantidad de precipitaciones, que superan los 3,000 mm anuales, concentrándose principalmente en la estación de lluvias que abarca de marzo a agosto, en la subcuenca del río Puyo, se experimenta un clima cálido y húmedo, con variaciones en la intensidad y distribución de las lluvias influenciadas por la topografía y la humedad transportada por los vientos alisios de la región. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021).

### 3.1.3 *Hidrografía*

La red fluvial en la región está dominada por el río Pastaza y sus numerosos afluentes que emergen de las zonas montañosas circundantes. Dentro de esta red como indica (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021), el río Puyo actúa como un afluente importante del Pastaza, la subcuenca incluye varios arroyos y ríos menores que drenan las áreas, como se muestra en la figura 3.

#### **Figura 3**

*Hidrografía de la Subcuenca de Río Puyo*



*Nota.* Se puede observar la red fluvial de la provincia de Pastaza.



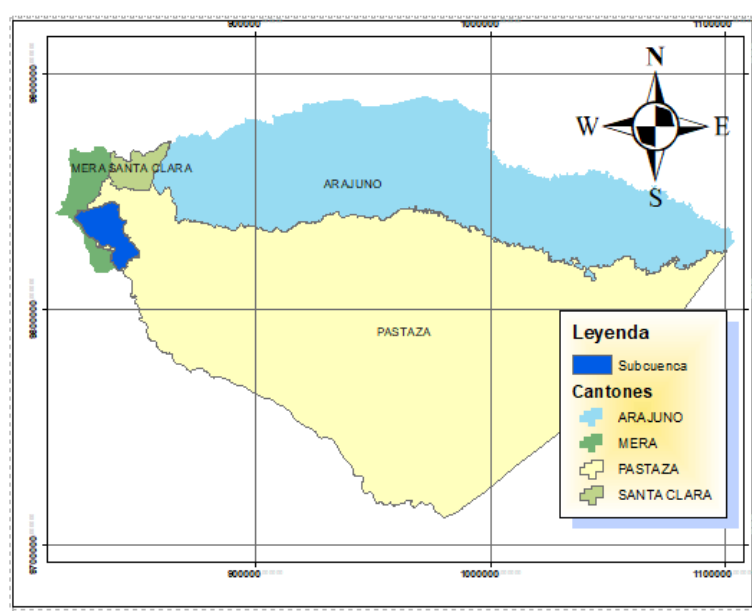
Esta red hídrica es crucial para el equilibrio hídrico de la región, así como para el suministro de agua necesario tanto para las actividades humanas como para los ecosistemas locales.

### 3.1.4 *División Política*

La provincia de Pastaza se constituye de 4 cantones, entre los cuales se encuentran Pastaza, Arajuno, Mera, y Santa Clara, como se ilustra en la figura 4. La subcuenca del río Puyo abarca partes del cantón Pastaza y se extiende hacia áreas cercanas de los cantones Mera y Santa Clara. Esta estructura política es relevante para la gestión de los recursos hídricos, ya que requiere la colaboración entre diversas autoridades locales y comunidades para asegurar la eficacia tanto en el monitoreo como la prevención de inundaciones (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021).

#### **Figura 4**

*Cantones de la Provincia de Pastaza*



*Nota.* Mapa de los cantones de la provincia de Pastaza, destacando la subcuenca del río Puyo. La subcuenca abarca áreas de los cantones Pastaza, Mera y Santa Clara.

### 3.1.5 Orografía

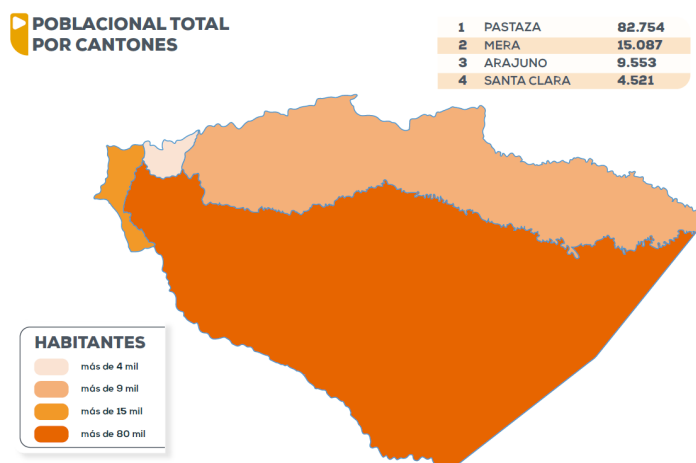
La región presenta una variedad que incluye desde áreas montañosas hasta llanuras extensas. En la subcuenca del río Puyo, la topografía es accidentada, con elevaciones que van desde colinas suaves hasta montañas de mediana altura. En la parte occidental de la subcuenca, se encuentran las estribaciones de la Cordillera Oriental, que tienen un impacto significativo en el régimen hidrológico al proporcionar áreas de recarga para los cuerpos de agua. Esta combinación de terrenos elevados y valles profundos crea un paisaje dinámico que afecta la distribución del agua y la erosión en la cuenca. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021; Villalba et al., 2017).

### 3.1.6 Población

Segun el. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022), la provincia de Pastaza tiene una población total de 111,915 habitantes como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Población en la Provincia de Pastaza*



*Nota.* Muestra la distribución de la población de la provincia de Pastaza. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022).

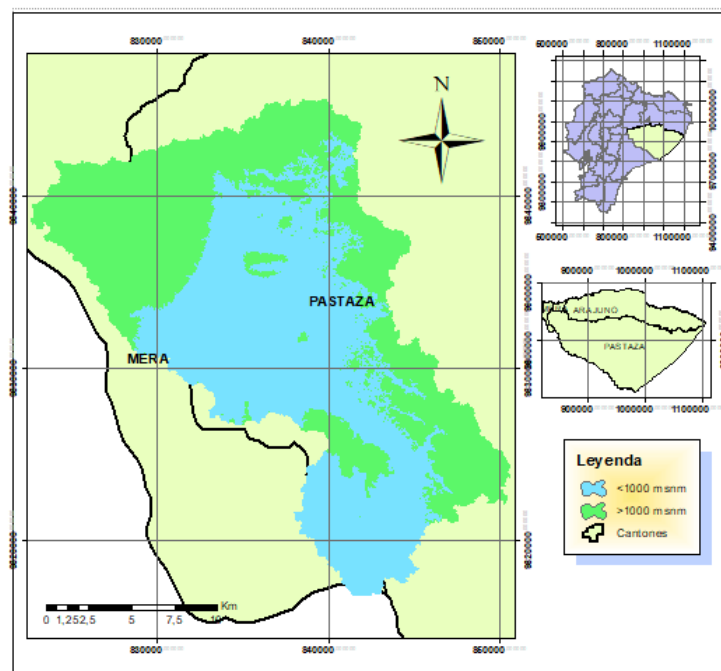
La distribución es mayoritariamente urbana, con el 65.7% viviendo en áreas urbanas y el 34.3% en áreas rurales, la mediana de edad de la población es de 24 años, y hay 97 hombres por cada 100 mujeres, los habitantes se autoidentifican principalmente como mestizos (47.2%) e indígenas (50.8%). En términos de crecimiento, la tasa interanual es del 3.4% entre 2001 y 2022. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022).

### 3.1.7 Características Topográficas y Altitudinales de la Subcuenca del Río Puyo

Según el (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2021), la altitud en la subcuenca presenta una topografía diversa que oscila desde los 500 m s. n. m. en las zonas bajas cercanas al río, hasta más de 2,000 m s.n.m. en las áreas montañosas circundantes, como se muestra en la figura 6.

**Figura 6**

*Altura de la Subcuenca del Río Puyo*



*Nota:* se describe la altura de la subcuenca del río Puyo en dos reclasificaciones menor a 1000 msnm de color celeste y mayor a 1000 m.s.n.m.

Las áreas cercanas al río Puyo son relativamente planas y se encuentran a altitudes más bajas, mientras que a medida que se aleja del río, el terreno asciende hacia colinas y montañas de mediana altura. Esta variación en la altitud afecta la distribución del agua y la dinámica de las inundaciones según el (Organización Mundial Meteorológica, 2020), y es crucial para determinar las ubicaciones óptimas para las estaciones hidrometeorológicas, la información recopilada también permitió identificar áreas propensas a inundaciones y zonas donde el uso del suelo puede influir en el riesgo de eventos extremos, facilitando así el diseño de una red de monitoreo efectiva y adaptada a las condiciones locales.

### **3.2 Enfoque de la Investigación**

El estudio del "Diseño de la Red Hidrometeorológica como herramienta para el Monitoreo y Prevención de Crecidas e Inundaciones en la Subcuenca del Río Puyo para el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza" se fundamentó en un enfoque de cuenca, este enfoque consideró la subcuenca hidrográfica como un espacio tridimensional delimitado por la línea divisoria de las aguas, en el cual interactuaron la cobertura del terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria. Este sistema hídrico, que conduce sus aguas hacia un río principal, un lago o el mar, integró recursos naturales y la infraestructura creada por las personas, donde se desarrollaron actividades económicas y sociales, generando diversos efectos sobre el bienestar humano, la red hidrometeorológica se diseñó para optimizar el monitoreo y la gestión de eventos extremos como crecidas e inundaciones, proporcionando datos críticos para la toma de decisiones.

Para enfrentar los desafíos de crecidas e inundaciones en la subcuenca del río Puyo, se desarrolló una red de estaciones hidrometeorológicas utilizando un análisis multicriterio realizado en el programa ArcGIS 10.8, considerando criterios técnicos. Además, se llevó a cabo un estudio ambiental, económico y social, el estudio económico evaluó la inversión

necesaria, mientras que el análisis ambiental identificó los posibles impactos de la implementación del proyecto y propuso un plan de acción para mitigar dichos impactos, el componente social del estudio evaluó la aceptación del proyecto por parte de la población local, asegurando que las intervenciones fueran bien recibidas y sostenibles a largo plazo, este enfoque integral garantizó una gestión efectiva y sostenible de los recursos hídricos, mejorando la resiliencia de la comunidad ante eventos hidrometeorológicos extremos.

### **3.3 Diseño de la Investigación**

#### ***3.3.1 Evaluación y diagnóstico el estado de las estaciones hidrometeorológicas que operan en la subcuenca actualmente***

Se fundamentó en un análisis de la ubicación y el estado operativo de las estaciones establecidas por el INAMHI y GADPPz. Se recopilaron las coordenadas geográficas de todas las estaciones meteorológicas, hidrométricas e hidrometeorológicas, y se elaboró un mapa en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para visualizar su distribución espacial. Para identificar áreas no cubiertas y evaluar la densidad de estaciones en relación con la extensión de la subcuenca, asegurando una cobertura adecuada para el monitoreo efectivo.

#### ***3.3.2 Adquisición de datos geográficos***

La información utilizada para este estudio se obtuvo de la base de datos del Geoportal del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (GADPPz), así como de las diversas capas de datos proporcionadas por el gobierno ecuatoriano a través de instituciones especializadas, como el Geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Es importante tener en cuenta que estos datos están fragmentados y no se encuentran completamente integrados, lo que podría afectar la precisión o los resultados del estudio

derivado de ellos. No obstante, se revisó exhaustivamente la información y todo el trabajo se realizó basándose en los datos oficiales disponibles de las instituciones ecuatorianas.

### 3.3.3 *Diseño de la Red Meteorológica*

#### 3.3.3.1 **Estimación del número de estaciones meteorológica y pluviométrica.**

Se calculó el área de la subcuenca y se reclasificó en 2 rangos de altura y se consideró los valores recomendados de densidad de estaciones estipulados en el Item. 2.4.2.2.

**Tabla 2**

*Parámetros de Densidad por Estación Pluviométrica y Meteorológica*

Zona	Altura (m)	$S_{Ep}$ (km <sup>2</sup> )	$S_{Em}$ (km <sup>2</sup> )
Llanura	< 1000	40	110
Montañosa	>1000	30	80

Autor: (Franco M,2024)

Fuente: (Organización Mundial Meteorológica, 2020; Theochari et al., 2019).

Para calcular la cantidad de estaciones por cada zona se aplicó la siguiente ecuación (Organización Mundial Meteorológica, 2020).

$$E_{Zona} = \frac{S_c}{S_E} \quad (1)$$

Donde:

$E_{Zona}$ : Cantidad de estaciones hidrometeorológica estimadas en el rango de altura (adimensional)

$S_c$ : Superficie calculada de la subcuenca en el rango de altura (km<sup>2</sup>)

$S_E$ : Cantidad de superficie estimada para cada estación ya sea pluviométrica o meteorológica según el rango de altura (Km<sup>2</sup>). (Organización Mundial Meteorológica, 2020).

### 3.3.3.2 Determinación del sitio de implantación de las estaciones meteorológicas.

Se llevó a cabo un análisis de categorización del área de todos los datos georreferenciados, aplicando los criterios establecidos en el criterio técnico relacionado a la accesibilidad Item 2.4.2.4. Se aplicó la herramienta de zonificación primaria, fusionando las dos capas para establecer una zonificación de estilo "booleano". En este esquema, se identificaron áreas positivas, donde la construcción de estaciones fue viable sin inconvenientes, y áreas negativas, donde la instalación no resultó adecuada. Adicionalmente, se definieron áreas neutras que se clasificaron posteriormente.

- **Zonificación negativa:** identificó las zonas donde, según los criterios restrictivos definidos, no se deberían colocar estaciones meteorológicas, estas áreas incluyeron un perímetro de 200 metros alrededor de cualquier elemento que pudiera comprometer la integridad de la estación o la fiabilidad de los datos recolectados, entre estos elementos se encontraron ríos, pantanos, zonas inundables, terraplenes, líneas férreas, líneas de electricidad y cualquier otro componente del paisaje que, de manera lineal o puntual, generara un conflicto con la estación, además, se excluyeron las ubicaciones cercanas a zonas urbanas, carreteras principales y otros elementos similares, el resultado fue una capa que mostró las áreas donde la instalación de estaciones no resultaba adecuada.
- **Zonificación positiva:** Se encargó de identificar las áreas más adecuadas para la instalación de estaciones. Estas áreas fueron seleccionadas por su proximidad a vías de comunicación, asentamientos y otros factores que facilitarían la operación y mantenimiento de las estaciones, en el mapa resultante se destacaron las localizaciones

positivas, indicando los lugares óptimos para la instalación de las estaciones hidrometeorológicas.

### ***3.3.4 Diseño de la Red Hidrométricas e Hidrológica***

Mientras que para la instalación de las estaciones hidrológicas y hidrométricas se considera el criterio de la (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023), el criterio del Item 2.4.2.2., y lugares de inundación considerando el trabajo de. (Lalangui & Méndez Taco, 2020).

### ***3.3.5 Estudio Económico***

En este estudio se consideraron varios aspectos económicos que son clave para la implementación de las estaciones hidrometeorológicas, se evaluaron los costos iniciales de adquisición de las estaciones, que incluyen el precio de los equipos y dispositivos necesarios para el funcionamiento adecuado de las estaciones, además, se analizaron los gastos de instalación, los cuales comprenden los costos de transporte, instalación física y configuración del sistema, esta información fue obtenida a través del portal Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP). Se estimaron los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil proyectada de las estaciones, que es de 20 años según el estándar establecido por el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2024; Organización Mundial Meteorológica, 2017). Este mantenimiento incluye la sustitución de piezas desgastadas, reparaciones necesarias para asegurar el funcionamiento continuo y la actualización de software para mantener la precisión y confiabilidad de los datos.

También se consideraron los costos operativos asociados a la red hidrometeorológica, fundamentales para garantizar el funcionamiento continuo de las estaciones. Además, se incluyeron los costos de mantenimiento regular, que comprenden la inspección periódica, la limpieza de los sensores para asegurar su precisión, tal como lo



recomienda la (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023),y la calibración de los equipos, un proceso crucial para mantener la exactitud de las mediciones a lo largo del tiempo, tomando como referencia el Informe de Gestión del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2024).

Para estimar la inflación que se tendrá para los próximos 20 años, se utilizó la información de.(STATISTA, 2024), que analizó la inflación en Ecuador desde 2015 hasta 2029, proyectando una tasa del 1,46% para los próximos cinco años. Esta tendencia fue aplicada para todo el proyecto.

### **3.3.6 *Estudio Ambiental***

Se realizó un diagnóstico de la subcuenca para evaluar la cobertura, comparando el año 1990 y 2018, utilizando el uso del suelo del GADPPz correspondiente a esos años y método SIG. Se examinaron las siguientes categorías de uso del suelo: intervenido (areas pobladas, infraestructura y tierra agropecuaria), natural ( bosque nativo y vegetacion arbustiva) y otras (areas sin cobertura y cuerpos de agua).

Además, se evaluó los potenciales impactos sobre los ecosistema por la ubicación la red hidrometeorológica propuesta, considerando no solo su alineación con las características del uso del suelo, sino también su circundantes. Para ello, se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos para identificar tanto los impactos positivos como los negativos. A partir de estos hallazgos, se generaron medidas de mitigación estratégicas y técnicamente viables, destinadas a minimizar el impacto ambiental del proyecto. (Pulido et al., 2023; Sánchez & Mendoza, 2021).

### **3.3.7 *Estudio Social***

Se aplicó una encuesta sobre la aceptación de estaciones hidrometeorológicas a los hogares cercanos al lugar de implantación, considerando una muestra de población ubicada

en un radio de 2 km alrededor del sitio estimado para la instalación, la encuesta se estructuró en cuatro secciones: información demográfica, conocimiento y percepción, impacto percibido, y aceptación, como se muestra en el apéndice B, recolectando datos cualitativos y cuantitativos, este enfoque asegura una comprensión integral de la opinión pública y resalta la importancia de incluir a la sociedad, ya que promueve la transparencia, genera confianza y garantiza la relevancia y aceptación del proyecto, la información recopilada fue tratada mediante estadística descriptiva, analizando frecuencias y distribuciones para identificar tendencias y preocupaciones comunes, facilitando la toma de decisiones informada y la mitigación de posibles conflictos.

### **3.4 Tipo de investigación**

El proyecto se basó en una investigación de tipo aplicada y descriptiva con componentes exploratorios, la investigación aplicada se centró en la implementación práctica de la red hidrometeorológica, mientras que la descriptiva permitió un análisis detallado de las características y dinámicas de la subcuenca, el componente exploratorio facilitó la identificación de aspectos no previamente considerados que podrían influir en el diseño y operación del sistema.

Para el análisis cuantitativo, se utilizaron datos precisos de coordenadas geográficas, uso de suelo, características topográficas e hidrológicas recolectados a través del programa ArcGIS. Estos datos proporcionaron una base sólida para el diseño técnico de la red, a la vez, se integraron variables cualitativas mediante el uso de criterio técnico especializado y encuestas a la comunidad local, capturando las percepciones y opiniones de los residentes sobre la implementación del proyecto, esta combinación de enfoques permitió una evaluación integral que consideró tanto los aspectos técnicos como las inquietudes y expectativas de la población.

El objetivo final de la investigación fue desarrollar una red hidrometeorológica en la subcuenca del río Puyo que proporcionara información fiable para una gestión hídrica efectiva y mejorara la calidad de vida de la población local, la integración de técnicas aplicadas, descriptivas y exploratorias aseguró que el proyecto no solo respondiera a las necesidades técnicas y ambientales, sino que también fuera aceptado y respaldado por la comunidad, promoviendo una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos en la región.

### 3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se aplicó una encuesta sobre la aceptación de estaciones hidrometeorológicas a los hogares cercanos al lugar aplicando las técnicas recomendadas por (Alaminos, 2023). La encuesta se estructuró en cuatro secciones:

- **Información demográfica:** Esta sección recopiló datos básicos sobre los encuestados, como edad, género, nivel educativo, ocupación y ubicación geográfica. Estos datos permitieron segmentar las respuestas y analizar cómo diferentes grupos percibieron o reaccionaron ante un tema específico.
- **Conocimiento y percepción:** En esta parte, se midió el nivel de conocimiento que los encuestados tenían sobre un tema y cómo lo percibieron. Las preguntas exploraron lo que sabían, sus creencias, opiniones y actitudes hacia el tema, ayudando a entender la comprensión y las posibles ideas erróneas que pudieron haber influido en sus respuestas.
- **Impacto percibido:** Aquí se indagó sobre cómo los encuestados percibieron el impacto de un fenómeno o proyecto en sus vidas o en su comunidad. Las preguntas abordaron tanto impactos positivos como negativos, y fueron cruciales para entender las preocupaciones, expectativas y las posibles consecuencias sociales de una intervención.

- **Aceptación:** Esta sección evaluó la disposición de los encuestados a aceptar o apoyar una idea, proyecto o política. Incluyó preguntas sobre su grado de aprobación, resistencia o disposición a colaborar, proporcionando una visión clara de la viabilidad social del proyecto o iniciativa en cuestión.

Este enfoque asegura una comprensión integral de la opinión pública y resalta la importancia de incluir a la sociedad, ya que promueve la transparencia, genera confianza y garantiza la relevancia y aceptación del proyecto. La información recopilada en el diseño y estudio social fue tratada mediante estadística descriptiva facilitando la toma de decisiones y la mitigación de posibles conflictos. (Alaminos, 2023; Gómez, 2020).

### 3.6 Técnicas para el Procesamiento e Interpretación de Datos

Para el proyecto, se emplearon diversas técnicas e instrumentos de recolección de datos que aseguraron una comprensión integral y precisa de las condiciones y necesidades de la subcuenca del río Puyo.

- **Análisis Geoespacial:** Se utilizó ArcGIS 10.8.2 para integrar y visualizar datos espaciales relevantes para la gestión hídrica, esta herramienta permitió identificar áreas críticas y planificar la ubicación óptima de las estaciones hidrometeorológicas, los datos espaciales incluyeron información sobre el terreno, uso del suelo, cuerpos de agua, y patrones de precipitación y flujo, el análisis geoespacial también permitió modelar escenarios de crecidas y analizar la conectividad hídrica dentro de la subcuenca.
- **Estudio Económico:** Se realizó un análisis costo-beneficio detallado del proyecto, este estudio evaluó la inversión inicial en infraestructura, el costo de mantenimiento de las estaciones y los beneficios que la red brindaría a la comunidad, como la reducción de daños por inundaciones y la mejora en la gestión de recursos hídricos, el análisis económico también consideró los costos a largo plazo, las posibles fuentes de

financiamiento, y la viabilidad económica de implementar tecnologías avanzadas de monitoreo y comunicación de datos en tiempo real.

- **Estudio Ambiental:** Este estudio asegura que la implementación de la red fuera sostenible y respetuosa con el medio ambiente local. Se analizaron factores como la biodiversidad, el impacto en el suelo y el agua, y la compatibilidad con los ecosistemas locales. Además, se implementaron medidas de mitigación para minimizar cualquier impacto negativo.
- **Encuestas a la Comunidad Local:** Se aplicaron encuestas estructuradas a los residentes locales de la subcuenca del río Puyo a través de Google Forms, estas encuestas fueron diseñadas para evaluar el conocimiento y la percepción de los residentes sobre la función y utilidad de las estaciones hidrometeorológicas. Las preguntas se centraron en aspectos como la percepción de riesgo ante crecidas e inundaciones, el nivel de confianza en las soluciones tecnológicas propuestas y la disposición a participar en iniciativas de monitoreo y prevención. Los datos obtenidos de las encuestas se trataron mediante técnicas de estadística descriptiva, lo que permitió resumir y analizar las respuestas de manera efectiva.

### **3.7 Población y Muestra**

#### **3.7.1 Población**

La población objetivo del estudio incluye solo a los residentes que viven dentro de un radio de 500 metros de la futura red de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca del río Puyo. Utilizando el uso de suelo y mapeo geoespacial con ArcGIS 10.8.2, se determinará la población específica a estudiar.

### 3.7.2 Tamaño de la Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra necesaria para obtener resultados representativos y fiables de esta población específica, se utilizó la fórmula para muestras finitas. (Hernández et al., 2010).

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (2)$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

p= proporción esperada de la población (0.5 para máxima variabilidad)

q= 1 - p (0.5)

e= margen de error tolerado (0.05)

Z= valor z correspondiente al nivel de confianza (1.96 para un nivel de confianza del 95%). (Hernández et al., 2010).

## Capítulo 4

### Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 Evaluación y Diseño de la Red Hidrometeorológica para la Gestión de Crecidas e Inundaciones en la Subcuenca del Río Puyo

##### 4.1.1 Evaluación y diagnóstico de las Estaciones Hidrometeorológicas Actual y Delimitación de la Subcuenca

En la subcuenca del río Puyo se encuentran actualmente tres estaciones meteorológicas y una pluviométrica. De estas, dos estaciones meteorológicas son administradas por el INAMHI: una operativa (M008) y otra pluviométrica no operativa (M1032). Además, el Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza (GADPPz) ha implementado dos estaciones meteorológicas adicionales, ubicadas en Pindo Mirador y Fátima, las cuales también se encuentran fuera de operación. Utilizando esta información, se llevó a cabo un análisis mediante el método de polígonos de Thiessen para determinar el área de influencia de cada estación en relación con la variable pluviométrica dentro de la subcuenca. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Influencia de las Estaciones Meteorológicas y Pluviométrica*

Nº	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Estación	Propietario	Área de Influencia (Km <sup>2</sup> )
1	824864.00	9838682.00	Pindo	GADPPz	62.5
2	833622.00	9843462.00	Fátima	GADPPz	74.9
3	842895.00	9822525.00	M1032	INAMHI	95.3
4	840112.25	9833147.42	M008	INAMHI	139.27

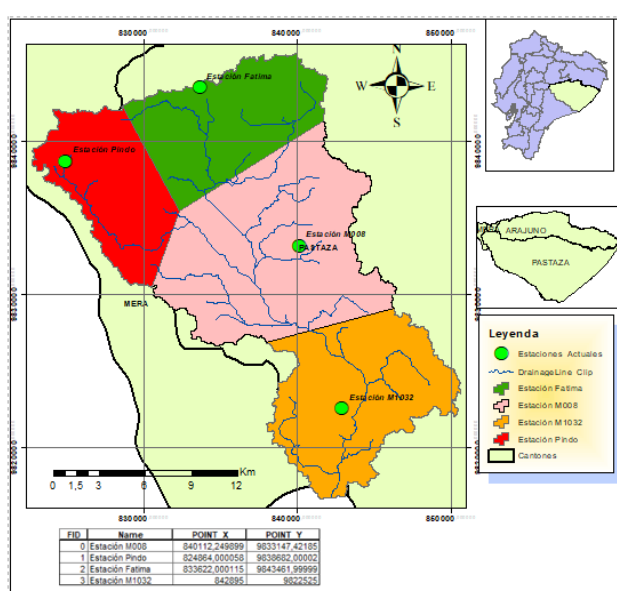
Fuente: (Organización Mundial Meteorológica, 2023).

Al realizar una reclasificación altitudinal conforme a lo establecido en el Ítem 3.3.3.1, tomando como referencia la confluencia con la cuenca del río Pastaza como punto de desembocadura de la subcuenca del río Puyo, se determinó que su superficie total es de aproximadamente 371.90 km<sup>2</sup>, de los cuales 180.46 km<sup>2</sup> corresponden a áreas montañosas y 191.44 km<sup>2</sup> a zonas de llanura.

De las cuatro estaciones existentes, la estación Pindo situada en el sector montañoso actualmente no está operativa, pero su área de influencia en la cuenca es de 62.5 km<sup>2</sup>. La estación Fátima, también ubicada en una zona montañosa, cubre un área de influencia de 74.9 km<sup>2</sup>. Por su parte, las estaciones M008 y M1032 del INAMHI abarcan áreas de influencia de 139.27 km<sup>2</sup> y 95.3 km<sup>2</sup> respectivamente, como se ilustra en la figura 7.

### Figura 7

*Área de Influencia de cada Estación Meteorológicas y Pluviométricas en la Subcuenca del río Puyo por el Método de Thiessen*



*Nota.* Distribución espacial de las estaciones meteorológicas y pluviométrica en la subcuenca del río Puyo. Se muestran las áreas de influencia determinadas por polígonos de Thiessen.



#### 4.1.2 Criterios Técnicos, Funcionales y Diseño de la Red Meteorológica e Hidrométrica

Se tomaron en cuenta los criterios técnicos y funcionales establecidos en el Ítem 2.4. La red hidrometeorológica debe ubicarse estratégicamente en puntos representativos para captar datos precisos sobre precipitación, dirección del viento, radiación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, caudal, calidad y nivel del agua, para optimizar costos, se emplearán estaciones pluviométricas, hidrométricas, hidrológicas y meteorológicas. La tabla 4 detalla las estaciones seleccionadas en función de la variable a monitorear.

**Tabla 4**

*Estaciones y Variables de Monitoreo para Red Hidrometeorológica Propuesta*

Tipo de Estación	Variable de Control
Pluviométrica	Precipitación
Hidrométrica	Nivel del agua
Hidrológica	Precipitación, temperatura, caudal, calidad del agua y nivel el agua
Meteorológica	Precipitación, radiación, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento.

*Nota.* Las estaciones seleccionadas permiten un monitoreo integral de variables clave, optimizando la recolección de datos en la subcuenca del río Puyo según criterios técnicos y funcionales.

Para la ubicación de las estaciones, se consideró que la accesibilidad del sitio debe ser adecuada para facilitar la instalación, el mantenimiento y la calibración de los equipos, las estaciones deben ser automáticas para garantizar su durabilidad y funcionamiento en condiciones adversas sin necesidad de intervención frecuente, es fundamental que el tecnico encargado realice verificación visual y física, calibración de sensores, revisión de los datos, pruebas de comunicación y mantenimiento regular, al menos una vez al mes, para

asegurar que la red mantengan su precisión, también se deben implementar sistemas de transmisión de datos en tiempo real, como GSM/GPRS, satélite o radio, para asegurar la disponibilidad continua de la información, utilizando registradores con suficiente capacidad para almacenar datos en caso de fallos de transmisión.

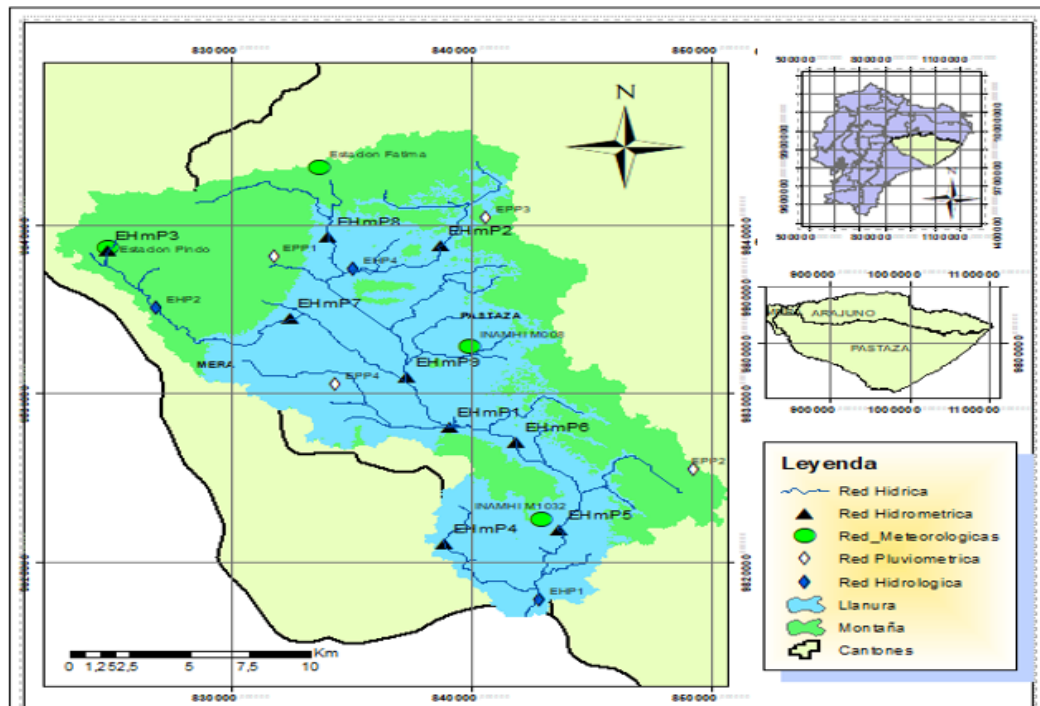
Las estaciones deben estar equipadas con fuentes de energía autónomas, como paneles solares o baterías recargables, para garantizar su funcionamiento ininterrumpido, la seguridad física de los equipos es esencial, por lo que se deben instalar sistemas de protección contra robos o daños, los datos recogidos deben integrarse en sistemas de información geográfica (SIG) y en bases de datos meteorológicos, hidrológicos, pluviométricos e hidrométricos para facilitar su análisis y uso en modelos predictivos, se utilizará software especializado para gestionar y analizar los datos hidrométricos, lo que permite generar informes y alertas automáticas.

#### ***4.1.3 Diseño de la Red Hidrometeorológica***

Se calculó el número de estaciones necesarias para la red hidrometeorológica en la subcuenca del río Puyo, como se detalla en la tabla 4. Aunque de las cuatro estaciones existentes, tres no están operativas, se aprovechará su infraestructura y ubicación, ya que se encuentran en sitios seguros para su conservación en la nueva red. La red hidrometeorológica consta de 20 estaciones, organizadas en cuatro categorías: hidrométricas, hidrológicas, meteorológicas y pluviométricas. Nueve son hidrométricas (EHmP), tres hidrológicas (EHP), cuatro meteorológicas (EMP) y cuatro pluviométricas (EPP). Estas estaciones están ubicadas estratégicamente a lo largo de la subcuenca, cubriendo tanto áreas montañosas como llanuras, como se muestra en la figura 8.

**Figura 8**

*Distribución de la Red Hidrometeorológica con las Áreas de Influencia para las Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas*



Nota. En la figura a) se presenta la red hidrometeorológica propuesta para la subcuenca del río Puyo. En la figura b)

**Tabla 5***Estaciones para la Red Hidrometeorológica Propuesta*

N°	Estación	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)	Tipo
1	EHmP4	838872.75	9821100.83	Hidrométrica
2	EHmP5	843654.96	9821940.66	Hidrométrica
3	EHmP6	841864.89	9827097.81	Hidrométrica
4	EHmP7	832408	9834527	Hidrométrica
5	EHmP8	834022.98	9839365.55	Hidrométrica
6	EHmP1	839057.69	9828055.37	Hidrométrica
7	EHmP2	838668.43	9838851.55	Hidrométrica
8	EHmP3	824842	9838558	Hidrométrica
9	EHmP9	837291.27	9831025.42	Hidrométrica
10	EHP1	842784.26	9817725.06	Hidrológica
11	EHP2	826870	9835066	Hidrológica
12	EHP3	835054.83	9837375.08	Hidrológica
13	INAMHI M1032	842895.00	9822525.00	Meteorológica
14	INAMHI M008	839877	9832769	Meteorológica
15	PINDO	824864	9838682	Meteorológica
16	FÁTIMA	833622	9843462	Meteorológica
17	EPP1	8311856.29	9837929.79	Pluviométrica
18	EPP2	849215.99	9825467.44	Pluviométrica
19	EPP3	840571.95	9840455.47	Pluviométrica
20	EPP4	834310.26	9830552.33	Pluviométrica

Nota. Ubicación y tipo de las estaciones que conforman la red hidrometeorológica propuesta para la subcuenca del río Puyo.

Mientras que, en la tabla 6 se muestra el área de influencia de las estaciones meteorológicas y pluviométricas, al comparar los datos de las estaciones pluviométricas con los parámetros sugeridos (tabla 1), se observó que en las zonas llanas, la media de las áreas de influencia (40.29 km<sup>2</sup>) muy cercana al valor estimado de 40 km<sup>2</sup>, lo que indicó una cobertura adecuada.

Sin embargo, la desviación estándar es de 17.89 km<sup>2</sup> estos significan que algunas estaciones cubrieron áreas significativamente mayores o menores que las recomendadas. En las zonas montañosas, la media de 28.41 km<sup>2</sup> fue ligeramente menor que el estándar de 30

km<sup>2</sup>, lo que implicó una sobreestimación de estaciones en áreas más pequeñas, con una menor variabilidad en comparación con las zonas llanas.

**Tabla 6**

*Área de Influencia (Km<sup>2</sup>) de las Estaciones Pluviométricas y Meteorológicas*

N°	Estación	Nombre	Ubicación	Área (Km <sup>2</sup> )
1		EPP4	Llanura	43.98
2		EHP1	Llanura	14.85
3		INAMHI M1032	Llanura	52.65
4		INAMHI M008	Llanura	59.52
5		EHP4	Llanura	30.47
	Pluviométrica		Promedio	40.29
6		EPP2	Montañosa	28.91
7		Pindo	Montañosa	23.02
8		Fátima	Montañosa	24.47
9		EHP2	Montañosa	22.51
10		EPP1	Montañosa	31.11
11		EPP3	Montañosa	40.41
			Promedio	28.41
1		INAMHI M1032	Llanura	95.26
2		INAMHI M008	Llanura	139.27
			Promedio	117.27
3	Meteorológica	Pindo	Montañosa	62.50
4		Fátima	Montañosa	74.87
			Promedio	97.83

**Nota.** Variación en la cobertura que presenta cada estación meteorológica y pluviométrica en la red hidrometeorológica propuesta para el río Puyo.

En cuanto a las estaciones meteorológicas, se observó una discrepancia notable, en las llanuras, el área media de influencia fue de 117.27 km<sup>2</sup>, superando ligeramente el valor inicial de 110 km<sup>2</sup>, con una desviación estándar de 31.12 km<sup>2</sup>. Esto sugiere una posible insuficiencia en la cantidad de estaciones necesarias en estas áreas. En las zonas montañosas, el área media de influencia fue de 68.69 km<sup>2</sup>, por debajo del parámetro inicial de 70 km<sup>2</sup>, indicando nuevamente una posible carencia en la densidad de estaciones. Estas variaciones se deben a que no todos los lugares ideales desde el punto de vista estadístico cumplían con

los parámetros de instalación, aunque la cobertura resultante es aceptable para proporcionar información representativa de la subcuenca.

#### 4.1.4 Estudio económico

##### 4.1.4.1 Costo Inicial del Proyecto

El costo inicial para establecer el proyecto de red hidrometeorológica para la subcuenca del río Puyo es de \$160,571.50. Esta cifra cubre la adquisición e instalación de varios tipos de estaciones y un vehículo necesario para la movilidad, como se indica en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Costo Inicial de la Red Hidrometeorológica para la Subcuenca del río Puyo*

Bienes	Descripción	Cantidad	Valor Und	Valor total
E. Pluviométrica		4	\$ 1,500.71	\$ 6,002.83
E. Hidrométrica		9	\$ 2,716.23	\$ 24,446.10
E. Meteorológica	Equipo e instalación	3	\$ 18,341.56	\$ 55,024.68
E. Hidrológica		3	\$ 18,365.97	\$ 55,097.90
Vehículo	Movilidad	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 160,571.50</b>

*Nota:* La inversión inicial de la red hidrometeorológica para la subcuenca del río Puyo es de \$160,571.50 asegura la instalación de equipos avanzados y un vehículo esencial para un monitoreo.

Las estaciones pluviométricas, con un costo total de \$6,002.83 para cuatro unidades, representan una inversión moderada en equipos que medirán las precipitaciones en la región. Las estaciones hidrométricas, suman \$24,446.10 para nueve unidades, tienen un costo unitario de \$2,716.23 debido a la tecnología avanzada necesaria para medir el nivel de agua en la subcuenca, esta inversión es crucial para la vigilancia precisa del caudal de agua y la evaluación de su impacto. Las estaciones meteorológicas, con un costo total de \$55,024.68 para tres unidades, son las más caras debido a la complejidad de los sensores que miden diversas variables. Las estaciones hidrológicas, que totalizan \$55,097.90 para tres unidades,

también presentan un alto costo debido a su capacidad para medir múltiples variables relacionadas a la cantidad y calidad del agua, finalmente, el vehículo, con un costo de \$20,000.00, para el desplazamiento del personal técnico y el mantenimiento preventivo y correctivo de las estaciones distribuidas en la subcuenca.

#### 4.1.4.2 Costo Total del Proyecto (20 Años)

El costo total del proyecto a lo largo de 20 años es de \$607,636.73. Esta cifra incluye diversos componentes esenciales para la operación continua y el mantenimiento de la red hidrometeorológica, como se señala en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Costo del Proyecto por 20 Años*

Bienes y Servicios	Descripción	Ctd	Valor/ 1 año	Valor/ 20 años
Red Hidrometeorológica	Equipo e instalación	1	\$140,571.50	\$ 140,571.50
Vehículo	Movilidad	2	\$ 20,000.00	\$ 40,000.00
Técnico	Personal	20	\$ 12,619.31	\$ 252,386.18
Mantenimiento	Calibración	20	\$ 8,733.95	\$ 174,679.05
<b>Total</b>			<b>\$ 181,924.76</b>	<b>\$ 607,636.73</b>

Nota. Desglose estimado de los costos y gasto generados por la implementación y funcionamiento de la red hidrometeorológica a lo largo de 20 años.

El costo de la red hidrometeorológica, es de \$140,571.50, incluye la inversión en equipo e instalación para mantener operativas las estaciones durante el período de inicio del proyecto. Además, se requiere una inversión de \$40,000.00 para la adquisición de dos vehículos, uno cada 10 años que son fundamentales para la movilidad y el transporte del técnico. Uno de los gastos más significativo es el mantenimiento, que asciende a \$174,679.05. Este monto cubre la calibración por entidades externas y mantenimiento correctivo de los equipos a lo largo de dos décadas por parte del técnico, garantizando tanto la precisión como la fiabilidad de las mediciones. La inversión en el personal técnico, que

totaliza \$252,386.18, refleja el costo del servicio de un profesional técnico necesario para la operación, mantenimiento preventivo y correctivo de la red.

#### 4.1.4.3 Costo beneficio (B/C)

Implementar una red hidrometeorológica es una estrategia altamente beneficiosa. Según la. (Organización Mundial Meteorológica, 2020, 2023), aunque los costos iniciales de instalación pueden ser elevados, los beneficios a largo plazo superan ampliamente la inversión. Estos servicios ofrecen protección contra fenómenos naturales extremos, mejoran la planificación estratégica en sectores clave y fortalecen la resiliencia de las comunidades.

Países como Bangladesh, Países Bajos y Estados Unidos han demostrado la efectividad de estas redes, evitando pérdidas significativas durante eventos climáticos extremos. Además, la. (Organización Mundial Meteorológica, 2020), menciona que, en la provincia de Alberta, Canadá, la relación costo/beneficio de su red hidrológica provincial existente es de 19, lo que indica un retorno de inversión extremadamente favorable.

#### 4.1.5 Estudio Ambiental

##### 4.1.5.1 Distribución del suelo

La tabla 9, muestra un incremento en las áreas intervenidas entre el año 1990-2018, pasando del 53.17% al 68.79% del territorio.

**Tabla 9**

*Variación del Uso de Suelo entre 1990-2018*

Uso de suelo	Año 1990		Año 2018	
	Are (Km2)	Porcentaje (%)	Are (Km2)	Porcentaje (%)
Intervenido	197.72	53.17%	255.84	68.79%
Natural	173.44	46.64%	114.68	30.84%
Otras	0.73	0.20%	1.38	0.37%
<b>Total</b>	<b>371.90</b>	<b>100.00%</b>	<b>371.90</b>	<b>100.00%</b>

*Nota.* Se observa que la intervención humana aumentó en 28 años, disminuyendo el área natural.

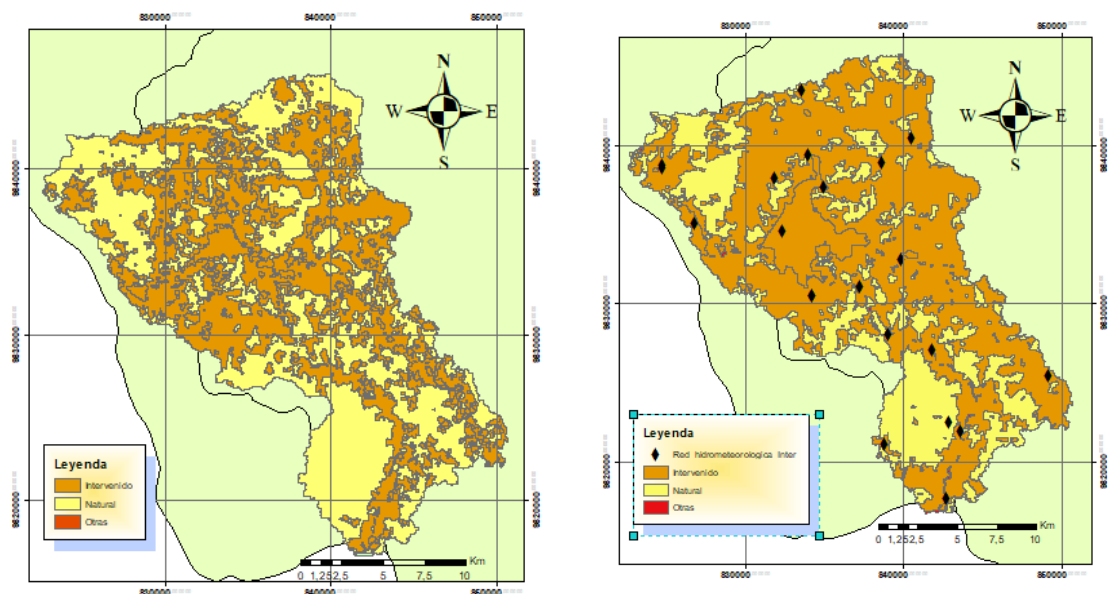


Sin embargo, esta expansión ha ocurrido a expensas de los bosques nativos y la vegetación arbustiva, que han disminuido significativamente, reduciendo el porcentaje de áreas naturales del 46.64% al 30.84%. Este cambio sugiere una fuerte presión sobre los ecosistemas naturales, lo que podría tener consecuencias negativas en la biodiversidad y en la capacidad de los suelos para sostener los ciclos hidrológicos y otros servicios ecosistémicos. Por otro lado, la categoría de "Otras" áreas, que incluye áreas sin cobertura y cuerpos de agua, muestra un ligero aumento, lo cual podría estar asociado con la erosión del suelo o el abandono de tierras previamente intervenidas así como con cambios en la gestión de recursos hídricos, como se muestra en la figura 9.

### Figura 9

*Variación de la Cobertura de Uso de Suelo y Distribución de la Red Hidrometeorológica*

*Propuesta*



a) Año 1990

b) Año 2018

*Nota.* La distribución de la red hidrometeorológica propuesta se ilustra en relación con el uso del suelo, destacando la predominancia de la tierra agropecuaria en la subcuenca.

Este panorama resalta la necesidad urgente de implementar políticas de manejo sostenible del territorio que equilibren el desarrollo humano con la conservación de los recursos naturales, protegiendo las áreas remanentes de bosque nativo y promoviendo prácticas que reduzcan el impacto ambiental en las zonas intervenidas, además es fundamental establecer una red hidrometeorológica que permita un monitoreo continuo y preciso de las variables climáticas e hidrológicas.

Esta red no solo contribuirá a una mejor gestión del agua y la prevención de desastres, sino que también proporcionará datos cruciales para adaptar las políticas de manejo y conservación a las condiciones cambiantes.

#### **4.1.5.2 Impacto positivo, impactos negativo y mitigación**

Uno de los impactos negativos más significativos de la expansión de áreas intervenidas entre 1990 y 2018 es la considerable reducción de áreas naturales, como bosques nativos y vegetación arbustiva, que pasó del 46.64% al 30.84% del territorio, esta disminución puede conducir a la pérdida de biodiversidad, afectando tanto a las especies como a los ecosistemas, además de comprometer la capacidad de los suelos para mantener ciclos hidrológicos cruciales.

El impacto positivo de la expansión de áreas intervenidas ha sido el desarrollo económico y social, la ampliación de tierras destinadas a la agricultura, el crecimiento de infraestructura y áreas urbanas han impulsado la economía local, creando empleos, mejorando la conectividad y ofreciendo mejores condiciones de vida, este desarrollo ha facilitado un mayor acceso a servicios básicos, mejorado la calidad de vida y apoyado el crecimiento económico mediante una mayor producción agrícola y expansión de mercados.

Para mitigar los impactos negativos y fomentar un desarrollo sostenible, es esencial implementar medidas como la restauración ecológica y la reforestación en las zonas donde

se ha perdido la vegetación natural, también es crucial adoptar prácticas agrícolas sostenibles para reducir la degradación ambiental y mejorar la productividad a largo plazo.

#### **4.1.6 Estudio Social**

La población de estudio fue de 840 habitantes y aplicando la fórmula del ítem 3.7.2, el tamaño de la muestra de estudio es 264 habitantes, al efectuar la encuesta se tuvo lo siguiente:

##### **4.1.6.1 Demográfica**

La muestra estudiada incluyó a 264 habitantes de los cantones de Pastaza, Mera y Santa Clara. De ellos, 152 personas (57,58%) pertenecen al cantón Pastaza, 78 (29,55%) al cantón Mera y 34 (12,88%) al cantón Santa Clara. En cuanto a la distribución por edad, el 46,59% de la población se encuentra en el rango de 26 a 45 años, seguido por el grupo de 18 a 25 años con un 37,12%. Un 12,88% pertenece al grupo de 46 a 65 años, y solo el 3,41% tiene más de 66 años.

En términos de nivel educativo, el 62,12% de los habitantes ha completado la educación secundaria, el 19,70% tiene educación primaria, el 13,26% ha alcanzado un nivel universitario, y un 4,92% cuenta con estudios de posgrado. Las ocupaciones más comunes son estudiantes (30,30%), agricultores (15,91%) y comerciantes (14,77%), mientras que los profesionales representan el 17,42% de la población. La mayoría de la población encuestada es masculina, con 177 hombres (67,05%) y 87 mujeres (32,95%).

##### **4.1.6.2 Conocimiento y Percepción.**

El análisis de la encuesta revela que existe una notable falta de familiaridad con las estaciones hidrometeorológicas, ya que el 71,59% de los encuestados no está familiarizado con ellas. Sin embargo, a pesar de esta falta de conocimiento, un 67,04% de los participantes

considera que la información proporcionada por estas estaciones es muy importante o importante. Esto sugiere que, aunque la mayoría no conoce bien estas estaciones, reconocen su relevancia potencial en la gestión del agua y en la predicción meteorológica. Por otro lado, una minoría significativa aún no comprende completamente su importancia, lo que podría estar relacionado con la falta de exposición a información y educación sobre el tema.

Adicionalmente, el 65.53% de los encuestados no ha recibido información o educación sobre el cambio climático y la gestión del agua, lo que subraya la necesidad de fortalecer la educación y la sensibilización en estos temas. Este déficit educativo podría estar contribuyendo a la falta de familiaridad con las estaciones hidrometeorológicas y a la percepción variable de su importancia. Para fomentar una mejor comprensión y apoyo comunitario hacia estas estaciones, sería fundamental implementar campañas educativas y de divulgación que aborden estas carencias, facilitando así una gestión más efectiva de los recursos hídricos y una mejor adaptación a los desafíos climáticos.

#### **4.1.6.3 Impacto Percibido**

La mayoría de los participantes (58.71%) no percibe que la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar tendría un impacto en su vida diaria, mientras que solo el 32.20% cree que sí lo tendría. Este resultado sugiere que existe una falta de conciencia o interés en los posibles efectos de estas estaciones en la comunidad. El 9.09% de los encuestados no está seguro, lo que indica que una parte de la población aún no tiene una opinión formada sobre el tema, probablemente debido a la falta de información.

Entre quienes creen que la estación tendría un impacto, se destacan las expectativas positivas en la gestión del agua (32.94%) y la mejora en las predicciones meteorológicas (24.71%), lo que refleja una valoración de los beneficios que estas estaciones podrían ofrecer en términos de recursos y prevención de desastres. Sin embargo, también existen

preocupaciones notables sobre el impacto negativo en la estética del entorno (20.00%) y en la privacidad (5.88%). Estos resultados subrayan la importancia de abordar tanto los beneficios como las preocupaciones estéticas y de privacidad en cualquier proyecto de instalación de estaciones hidrometeorológicas para asegurar la aceptación comunitaria.

#### **4.1.6.4 Aceptación**

La encuesta refleja una comunidad con opiniones divididas sobre la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de sus hogares. Un 44.3% de los encuestados muestra una postura favorable, mientras que un 28% se opone, y un 27.8% se mantiene neutral. La preocupación principal es el ruido, mencionado por el 57.2% de los participantes, seguido del impacto ambiental con un 17.8%. Otros factores como la seguridad, la estética del paisaje y la privacidad son menos relevantes, aunque presentes.

En cuanto a los beneficios, el 37.12% de los encuestados valora el aumento de la seguridad ante desastres naturales, mientras que un 31.44% destaca la mejora en la gestión del agua. Aunque existen algunas preocupaciones, especialmente relacionadas con el ruido, la comunidad parece estar abierta a la instalación de la estación si se logran mitigar estos impactos y se comunican mejor los beneficios relacionados con la seguridad y la gestión hídrica. en el apéndice C se puede observar más la tabla de resultados de la encuesta.

## **4.2 Discusión de los Resultados**

La evaluación de la red de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca del río Puyo revela importantes desafíos. La infraestructura existente está subutilizada, con un alto porcentaje de estaciones no operativas. El método de polígonos de Thiessen, tradicionalmente útil para definir áreas de influencia, pierde relevancia debido a esta inactividad, comprometiendo la precisión de los datos y la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos. Esto destaca la necesidad de reevaluar la operatividad y mantenimiento

de la red para asegurar que las decisiones se basen en datos precisos como lo sugiere la.(Organización Mundial Meteorológica, 2017).

La diversidad topográfica de la subcuenca, evidenciada por la reclasificación altitudinal, muestra deficiencias en la cobertura de la red actual. A pesar de estar estratégicamente ubicadas, las estaciones no cubren adecuadamente la variabilidad en zonas montañosas y llanuras, lo que puede afectar el monitoreo de variables cruciales como la precipitación y la temperatura. Esto tiene implicaciones graves para la planificación hídrica en un área altamente dependiente de los recursos hídricos como indican. (Agarwal et al., 2020; Organización Mundial Meteorológica, 2020; Theochari et al., 2019).

La intervención antropogénica, con uso intensivo para actividades agrícolas, ganaderas, piscícolas y urbanas, agrava la situación. La alta precipitación, influenciada por los vientos alisios del hemisferio sur, no es captada adecuadamente por la red actual debido a la falta de estaciones. (Organización Mundial Meteorológica, 2020), señala que, en áreas con alta precipitación es esencial contar con más estaciones para un monitoreo efectivo, lo que no se cumple en la subcuenca del río Puyo.

El diseño propuesto para la nueva red, que incluye 9 estaciones hidrométricas, 3 meteorológicas, 3 hidrológicas y 4 pluviométricas, busca mejorar la cobertura y calidad del monitoreo. En el estudio de. (Theochari et al., 2021), el cual diseñó una red hidrometeorológica para la evaluación de riesgos naturales en la subcuenca del río Sarantapotamos en Grecia, con una superficie de 341 km<sup>2</sup>, una precipitación anual promedio de 350 mm y una temperatura de 18°C, utilizando estaciones con áreas de influencia de 50 km<sup>2</sup> en llanura y montaña, donde utilizo 3 estaciones hidrometeorológicas 2 hidrométricas. En contraste, la subcuenca del río Puyo, con 371.9 km<sup>2</sup> con una precipitación promedio superior a los 3000 mm y una temperatura promedio de 23°C, se propuso un área de

influencia de 30 km<sup>2</sup> para la zona de montaña y 40 km<sup>2</sup> para la zona llanura. Debido a que en la subcuenca se tiene una precipitación aproximadamente 10 veces mayor que la subcuenca del río Sarantapotamos y según la. (Organización Mundial Meteorológica, 2020), se recomienda un mayor control pluviométrico si en sector se tiene altas precipitaciones.

El costo inicial para la instalación de la red es \$160,571.50 y el costo total proyectado a 20 años, de \$607,636.73, incluye mantenimiento, movilidad y personal técnico, lo que destaca la necesidad de planificación financiera a largo plazo. El análisis de costo-beneficio indica que los beneficios de mitigar desastres y mejorar la gestión hídrica superarán la inversión inicial, alineándose con experiencias internacionales que subrayan la importancia de una red bien mantenida. (Organización Mundial Meteorológica, 2023).

En términos ambientales, la reducción de áreas naturales y la expansión de áreas antrópicas desde 1990 genera una necesidad para implementar un proyecto de control. La pérdida de vegetación y transformación del paisaje afectan los ciclos hidrológicos. Es crucial que la implementación de la red se acompañe de estrategias de reforestación y manejo sostenible del territorio para mitigar impactos ambientales y preservar servicios ecosistémicos como recomienda. (Pulido et al., 2023).

Una parte significativa de la sociedad tiene preocupaciones sobre el ruido y el impacto ambiental, mostrando así, el desconocimiento de este tipo de proyecto, según. (Alaminos, 2023; Organización Mundial Meteorológica, 1990), este problema debe abordarse mediante campañas de sensibilización que resalten los beneficios en términos de seguridad y gestión del agua.

## Capítulo 5

### Marco Propositivo

#### 5.1 Planificación de la Actividad Preventiva

La evaluación de la red de estaciones hidrometeorológicas en la subcuenca del río Puyo ha revelado una serie de deficiencias que afectan la eficacia del monitoreo y la gestión de los recursos hídricos, la infraestructura existente muestra una alta proporción de estaciones inactivas y una cobertura insuficiente en zonas topográficas variadas, para mejorar la cobertura y la calidad del monitoreo, se sugiere el diseño de una nueva red con la incorporación de 9 estaciones hidrométricas, 3 meteorológicas, 3 hidrológicas y 4 pluviométricas.

Estas estaciones serán automáticas y estarán equipadas con sistemas de transmisión de datos en tiempo real y fuentes de energía autónomas, lo que asegurará su operatividad continua incluso en condiciones adversas. También, la integración de los datos en sistemas de información geográfica (SIG) permitirá un análisis espacial detallado y la aplicación en modelos predictivos, mejorando así la gestión de los recursos hídricos.

Desde una perspectiva económica, la inversión inicial de \$160,571.50 para la instalación de la nueva red y el costo proyectado a 20 años de \$607,636.73 deben justificarse por los beneficios en términos de gestión de recursos hídricos y mitigación de desastres. Un análisis de costo-beneficio debe demostrar que los beneficios superan ampliamente la inversión inicial.

En términos ambientales, es crucial acompañar la expansión de la red con estrategias de reforestación y manejo sostenible del territorio para mitigar los impactos negativos en los ciclos hidrológicos. Además, la aceptación del proyecto por parte de la comunidad local



debe ser fomentada a través de campañas de sensibilización y educación que destaquen los beneficios del proyecto.

## **Conclusiones**

Se analizó y diseñó la red de estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo y prevención de crecidas e inundaciones, en la subcuenca del río Puyo, que incluye tecnologías avanzadas, como estaciones automáticas equipadas con transmisión de datos en tiempo real y fuentes de energía autónomas.

Se evaluó y diagnosticó el estado de las estaciones hidrometeorológicas que operan en la subcuenca del río Puyo. Actualmente, existen tres meteorológicas y una pluviométrica, el INAMHI administra una estación meteorológica (M008) en estado operativo y una estación pluviométrica (M1032) no operativa. Mientras que, el GADPPz administra las otras dos estaciones meteorológicas ubicadas en Pindo Mirador y Fátima.

Se definieron criterios técnicos y funcionales para una red meteorológica e hidrométrica aplicando los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial que incluye: ubicación estratégica, equipos adecuados, monitoreo en tiempo real, adaptados a las características geográficas tales como pendiente ( $5\% >$ ), vías de acceso ( $<200\text{ m}$ ), zona de población ( $<200\text{m}$ ), zona de inundaciones, ubicación de los puentes y nivel de precipitación.

Se realizó el estudio social que evidenció el desconocimiento de la población sobre la red de estaciones hidrometeorológicas, el estudio ambiental, mostró la reducción del área natural del  $46.64\%$  al  $30.84\%$  entre 1990 y 2018, y finalmente, el estudio económico, determinó el costo de implementación de la red con una inversión inicial de \$160,571.50 y un costo total proyectado de \$607,636.73 en 20 años.

## **Recomendaciones**

Es fundamental reactivar y mantener las estaciones no operativas en la subcuenca del río Puyo para asegurar una red hidrometeorológica funcional y precisa. Esto mejorará la calidad de los datos recolectados y permitirá una toma de decisiones más informada en la gestión de los recursos hídricos.

Es crucial implementar políticas de manejo sostenible que incluyan reforestación y restauración ecológica en áreas donde la cobertura vegetal ha disminuido, esto ayudará a mitigar los impactos negativos de la expansión de áreas intervenidas, preservando los ciclos hidrológicos y la biodiversidad en la subcuenca.

Para maximizar el retorno de inversión, se debe establecer un plan financiero a largo plazo que contemple no solo los costos de instalación, sino también el mantenimiento continuo de la red hidrometeorológica, esto garantizará la sostenibilidad del proyecto y permitirá aprovechar al máximo los beneficios, como la mitigación de desastres y una mejor gestión de los recursos hídricos.

Se recomienda llevar a cabo campañas de sensibilización y educación dirigidas a la comunidad local, para mejorar la comprensión y aceptación del proyecto, abordar las preocupaciones sobre el ruido y el impacto ambiental, al tiempo que se destacan los beneficios para la seguridad y la gestión del agua, es clave para asegurar un apoyo comunitario sólido.

## Referencias Bibliográficas

- Agarwal, A., Marwan, N., Maheswaran, R., Ozturk, U., Kurths, J., & Merz, B. (2020). Optimal design of hydrometric station networks based on complex network analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2235–2251. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2235-2020>
- Alaminos, A. F. (2023). *Introducción a la investigación social mediante encuestas de opinión pública: Ciencia social computacional* (Limencop, Ed.; Vol. 1).
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. In *Registro Oficial 449*.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. In *Registro Oficial Suplemento 305*.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. In *Registro Oficial Suplemento 303*.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2024). Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. In *Registro Oficial Suplemento 488*.
- Auer, A., Natinzon, P., Murillo, N., & Manchado, J. C. (2020). Análisis de decisión multicriterio, aportes para una gestión sostenible del territorio rural del Partido de Balcarce. *Revista Estudios Ambientales*, 8(1), 59–94.
- Cea D’Ancona, M. <sup>a</sup> Á. (2022). Calidad, confianza y participación en encuestas. *Papers*, 107(4). <https://doi.org/10.5565/rev/papers.3074>
- Feloni, E. G., Karpouzou, D. K., & Baltas, E. A. (2018). Optimal Hydrometeorological Station Network Design Using GIS Techniques and Multicriteria Decision Analysis.

*Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 22(3).

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)hz.2153-5515.0000397](https://doi.org/10.1061/(asce)hz.2153-5515.0000397)

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. (2021). *Plan de Implementación de Medidas y Acciones REDD+ de la Provincia de Pastaza*.

Gómez, Á. B. (2020). Estado social y medio ambiente. *Revista de Fomento Social*, 298(3), 409–429.

Hernández, C. M., Tinoco, M. A., Montesinos, O. A., & Luna, I. (2010). *Muestreo estadístico: Tamaño de muestra y estimación de parámetros* (M. Ä. Tinoco Zermeño, Ed.; Vol. 1).

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Resultados Principales Pastaza*.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2024). *Informe de Gestión 2023*.

[https://www.inamhi.gob.ec/wp-](https://www.inamhi.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Informe_RC_2023.pdf)

[content/uploads/downloads/2024/04/Informe\\_RC\\_2023.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Informe_RC_2023.pdf)

Lalangui, F. L., & Méndez Taco, D. (2020). Determinación de la zona vulnerable a inundación del Río Puyo. *ResearchGate*, 1–6.

Marcillo, D., Vivas, P., & Alarcón, J. (2021). Evaluación de la fuente de incertidumbre en la curva de descarga de la microcuenca “Las Flores”, San Sebastián, Manabí, Ecuador. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 20, 1–17.

Naciones Unidas. (1992, May 9). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf)

- Organización Mundial Meteorológica. (1990). *Economic and social benefits of meteorological and hydrological services (WMO-N°733)*. Secretariat of the World Meteorological Organization.  
<https://library.wmo.int/viewer/31710/?offset=#page=1&viewer=picture&o=bookmarks&n=0&q=>
- Organización Mundial Meteorológica. (2017). *Guide to the Global Observing System (WMO-N°488)*. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.  
<https://library.wmo.int/viewer/35699/?offset=1#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=>
- Organización Mundial Meteorológica. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas (WMO-N°168)* (Vol. 1).  
<https://library.wmo.int/viewer/32737/?offset=1#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=>
- Organización Mundial Meteorológica. (2023). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos (WMO-N°8 )* (Vol. 1). Organización Mundial Meteorológica.  
<https://library.wmo.int/viewer/68714/?offset=#page=1&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=>
- Portalanza, D., Torres, M., Rosso, F., Zuluaga, C. F., Durigon, A., Horgan, F. G., Alava, E., & Ferraz, S. (2024). Climate variability and change in Ecuador: dynamic downscaling of regional projections with RegCM4 and HadGEM2-ES for informed adaptation strategies. *Frontiers in Climate*, 6(1). <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1344868>
- Pulido, M. D., Santanilla, D. J., & Castro, S. A. (2023). Consideraciones para la expansión demográfica ambientalmente sostenible mediante superposición difusa utilizando

- ArcGIS: caso estudio Neiva-Colombia. *Revista Politécnica*, 19(37), 119–132. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v19n37a9>
- Sánchez, D. I., & Mendoza, M. (2021). SIG aplicado a la optimización del tiempo de diseño en redes de distribución de agua potable. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 42(1), 68–80.
- STATISTA. (2024, May 22). *Evolución anual de la tasa de inflación en Ecuador desde 2015 hasta 2029*. Statista Research Department. <https://es.statista.com/estadisticas/1190037/tasa-de-inflacion-ecuador/#:~:text=En%202015%2C%20la%20tasa%20de,alrededor%20del%201%2C46%25>.
- Theochari, A., Feloni, E., Bournas, A., & Baltas, E. (2021). Hydrometeorological - hydrometric station network design using multicriteria decision analysis and GIS techniques. *Research Square*, 8, 1099–1119. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-278188/v1>
- Theochari, A., Feloni, E., Bournas, A., Karpouzou, D., & Baltas, E. (2019). Multi-criteria decision making and GIS techniques in the design of a stream gauging network. *Sustainable Development*, 15(4), 358–377.
- Villalba, D. J. S., Saltos, R. V. A., Badillo, L. M. R., Rodríguez, F. A. R., & Chugcho, P. A. (2017). Evaluación De La Calidad De Las Aguas De Los Diques Turísticos En La Subcuenca Del Río Puyo, Mediante El Uso Del Icatost V1.0. *European Scientific Journal*, 13(8), 260–271. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n8p260>
- Zhiña, D. X., Mosquera, G. M., Esquivel-Hernández, G., Córdova, M., Sánchez-Murillo, R., Orellana-Alvear, J., & Crespo, P. (2022). Hydrometeorological Factors Controlling the

Stable Isotopic Composition of Precipitation in the Highlands of South Ecuador.

*Journal of Hydrometeorology*, 23(7), 1059–1074. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-21>

Zúñiga, I., & Crespo, E. (2015). *Meteorología y climatología* (UNED, Ed.).

## Apéndice

### Apéndice A. Cuestionario

### Encuesta para la Aceptación de Estaciones Hidrometeorológicas

"¡Tu Voz Cuenta para un Futuro Seguro! Participa en la Encuesta para la Aceptación de Estaciones Hidrometeorológicas y Protege tu Comunidad!"

encuestasocial063@gmail.com [Switch account](#)

Not shared

---

#### Sección 1: Información Demográfica

---

**Cantón**

Pastaza

Mera

Santa Clara

Arajuno

---

**Edad**

18-25

26-45

46-65

66 en adelante

---

**Género**

Masculino

Femenino

Otro

---

**Nivel de Educación**

Primaria

Secundaria

Universitaria

Posgrado

---

**Ocupación**

Agricultor

Comerciante

Estudiante

Profesional

Otro (especificar)

---

#### Sección 2: Conocimiento y Percepción

---

¿Está usted familiarizado con las estaciones hidrometeorológicas?

Sí

No

---

¿Qué tan importante cree que es la información proporcionada por las estaciones hidrometeorológicas?

Muy importante

Importante

Moderadamente importante

Poco importante

Nada importante

---

¿Ha recibido información o educación sobre el cambio climático y la gestión del agua?

Sí

No



### Sección 3: Impacto Percibido

¿Cree usted que la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar tendrá algún impacto en su vida diaria?

- Sí
- No
- No sé

Si respondió "Sí" en la pregunta anterior, por favor, indique qué tipo de impacto espera.

- Impacto positivo en la gestión del agua
- Mejora en las predicciones meteorológicas
- Incremento en la seguridad ante desastres naturales
- Impacto negativo en la estética del entorno
- Impacto negativo en la privacidad
- Otros (especificar)

### Sección 4: Aceptación y Sugerencias

¿Está de acuerdo con la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar?

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Neutral
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

¿Cuáles son sus principales preocupaciones respecto a la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar?

- Seguridad
- Privacidad
- Impacto ambiental
- Estética del paisaje
- Ruido
- Otros (especificar)

¿Qué beneficios espera obtener de la instalación de una estación hidrometeorológica en su comunidad?

- Mejora en la gestión del agua
- Mejor planificación agrícola
- Mayor precisión en las predicciones meteorológicas
- Aumento de la seguridad ante desastres naturales
- Otros (especificar)



Table with 27 columns (A-T) and 69 rows. Headers include names, surnames, and various organizational details. Content includes names like 'Edu', 'Cecilia', 'Gisela', etc., and organizational information such as 'Centro Educativo', 'Escuela', 'Instituto', and 'Comunidad'. The table lists various individuals and their associated roles and locations.





### Apéndice C. Resultados de la Entrevista

Cantón	Habitantes	Porcentaje
Pastaza	152	57.58%
Mera	78	29.55%
Santa Clara	34	12.88%
Total	264	

Género	Habitantes	Porcentaje
Masculino	177	67.05%
Femenino	87	32.95%
Total	264	

Ocupación	Habitantes	Porcentaje
Agricultor	42	15.91%
Comerciante	39	14.77%
Estudiante	80	30.30%
Profesional	46	17.42%
Otros	57	21.59%
Total	264	

Edad	Habitantes	Porcentaje
18-25	98	37.12%
26-45	123	46.59%
46-65	34	12.88%
66<	9	3.41%
Total	264	

Nivel de Educación	Habitantes	Porcentaje
Primaria	52	19.70%
Secundaria	164	62.12%
Universidad	35	13.26%
Posgrado	13	4.92%
Total	264	

¿Está usted familiarizado con las estaciones hidrometeorológicas?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
NO	189	71.59%
SI	75	28.41%
Total	264	

¿Qué tan importante cree que es la información proporcionada por las estaciones hidrometeorológicas?

Opciones	Habitantes	Porcentaje
Muy importante	104	39.39%
Importante	73	27.65%
Moderadamente importante	62	23.48%
Poco importante	22	8.33%
Nada importante	3	1.14%
Total	264	

¿Ha recibido información o educación sobre el cambio climático y la gestión del agua?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Sí	91	34.47%
No	173	65.53%
Total	264	

¿Está de acuerdo con la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	56	21.21%
De acuerdo	61	23.11%
Neutral	73	27.65%
En desacuerdo	53	20.08%
Totalmente en desacuerdo	21	7.95%
Total	264	

¿Cree usted que la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar tendrá algún impacto en su vida diaria?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Sí	85	32.20%
No	155	58.71%
No sé	24	9.09%
Total	264	

Si respondió "Sí" en la pregunta anterior, por favor, indique qué tipo de impacto espera

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Impacto positivo en la gestión del agua	28	32.94%
Mejora en las predicciones meteorológicas	21	24.71%
Incremento en la seguridad ante desastres naturales	12	14.12%
Impacto negativo en la estética del entorno	17	20.00%
Impacto negativo en la privacidad	5	5.88%
Otros (especificar)	2	2.35%
Total	85	

¿Cuáles son sus principales preocupaciones respecto a la instalación de una estación hidrometeorológica cerca de su hogar?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Seguridad	24	9.09%
Privacidad	2	0.76%
Impacto ambiental	47	17.80%
Estética del paisaje	18	6.82%
Ruido	151	57.20%
Otros (especificar)	22	8.33%
Total	264	

¿Qué beneficios espera obtener de la instalación de una estación hidrometeorológica en su comunidad?

Opciones	Cantidad	Porcentaje
Mejora en la gestión del agua	83	31.44%
Mejor planificación agrícola	32	12.12%
Mayor precisión en las predicciones meteorológicas	41	15.53%
Aumento de la seguridad ante desastres naturales	98	37.12%
Otros (especificar)	10	3.79%
Total	264	

#### Apéndice D. Costo y descripción técnica de cada equipo

##### *Estaciones hidrométricas*

DESCRIPCION TECNICA DEL PRODUCTO	CANT	PRECIO UND	TOTAL
Sensor de nivel de agua con medida de presión compensada-Sensor de presión hidrostática de tubo ventilado, registrador automático de datos de presión/nivel de agua, compensado temperatura y tiempo de registro, acero inoxidable 316 o titanio. Sensor: Rango de temperatura operativa: -15° a 55°C, Rango de medición: 0 a 10 m, Unidades: mH2O, Resolución: 0.0034% FS, Precisión: ±0.05% FS, Condiciones de ambiente: A prueba de intemperie, Batería: Estándar cambiabile. Registrador de datos: Tipo de memoria: No volátil, Capacidad de memoria: 3 a 4 MB, Rango de temperatura de almacenamiento: -40° a 80°C, Tiempo de respuesta: 8x/segundo, Cables: Polietileno, poliuretano, FEP, Software de control. Medidas de temperatura: Rango: -15° a 55°C, Precisión: ±0.5°C (0° a 55°C), ±2.0°C (bajo 0°C), Resolución: 0.10°C, Unidades: Celsius. Incluye: Montaje, Mantenimiento dos veces al año.	9	2082.84	18745.55
Infraestructura para instalación de sensores de calidad de agua y presión hidrostática	9	279.10	2511.93
	<b>VALOR</b>	2361.94	21257.48
	<b>IVA</b>	354.29	3188.62
	<b>TOTAL</b>	2716.23	24446.10



### *Estaciones meteorológicas*

DESCRIPCION TECNICA DEL PRODUCTO	CTD	PRE. UND	TOTAL
<p>REGISTRADOR DE DATOS RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO: 40 ° C a + 70° C- ENTRADAS ANALÓGICAS: 6 simples o 3 diferenciales (configurados individualmente)- CONTADORES DE PULSO: 8- TERMINALES DE EXCITACIÓN DE VOLTAJE: 2- PUERTOS DE COMUNICACIONES: USB, RS-232,- E/S DIGITAL: 7 terminales configurables para entrada y salida digital.- LÍMITES DE ENTRADA: -100 mV a +2500 mV- PRECISIÓN DE VOLTAJE ANALÓGICO: ± (0.04% de la medida + desviación) de 0 ° a 40 ° C; ± (0,1% de la medida + desviación) de -40 ° a + 70 ° C- ADC: 24 bits- REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA: 10 a 18 Vcc; 16 a 32Vcc- PRECISIÓN DE RELOJ EN TIEMPO REAL: ± 1 min. Por mes- PROTOCOLOS DE INTERNET: Ethernet, PPP, RNDIS, ICMP / Ping, Auto-IP (APIPA), IPv4, IPv6, UDP, TCP, TLS, DNS, DHCP, SLAAC, NTP, Telnet, HTTP (S), FTP (S), SMTP / TLS , POP3 / TLS- PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN: PakBus, Modbus, DNP3, SDI-12, TCP, UDP y otros- UNIDAD DE CPU / PROGRAMAS: Flash serial de 80 MB - ALMACENAMIENTO DE DATOS: Flash serial de 30 MB - DRENAJE DE CORRIENTE INACTIVA, PROMEDIO: 1.5mA (a 12 Vcc) - DRENAJE ACTIVO ACTUAL, PROMEDIO: 5 mA (a 12 Vcc para escaneo de 1 Hz con 1 medición analógica)]; 23 mA (a 12 Vcc con procesador siempre encendido)</p>	3	2178.00	534.00
<p>PLUVIÓMETRO TB6 - RESOLUCION:0.1mm EXACTITUD: - 50mm por - hora; mejor que +/- 1% - 100mm por hora; mejor que +/- 4% - 125 mm por hora; mejor que +/- 5% - RANGO: 700mm por hora.- MATERIAL: Aluminio anodizado con - recubrimiento de pintura en polvo. - BASE: plástico ABS estabilizado UV - Material del balancín, disponible en ABS cromado – INCLUYE - Soporte metálico para instalación - Cable de 5 metros</p>	3	1210.00	630.00
<p>SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA- temperatura- rango de medición: -40 ° a + 70 ° c- resolución reportada: 0.001 ° c- exactitud: ± 0.3 ° c (-20 ° a 60 ° c); ± 0.4 ° c (-40 ° a 70 ° c)- tiempo de respuesta con filtro: &lt;130 s (63% de tiempo de respuesta en aire en movimiento a 1 m s- 1)- humedad relativa- rango de medición: 0 a 100% hr- resolución reportada: 0.001% hr- exactitud: ± 1.8% (rango del 00% al 80% hr); ± 3% (rango 80% a 100% hr) - histéresis a corto plazo: &lt;1% hr- estabilidad típica: ± 0.5% por año- tiempo de respuesta con filtro: 8s- trazabilidad de la calibración: normas nist y npl - *incluye escudo de radiación solar y 4m de cable</p>	3	1078.00	3234.00
<p>SENSOR DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO 03002-L- Rango de temperatura de funcionamiento: - 50 a + 50°C.- Sensor: Anemómetro de 3 copas y veletas- Medida: Velocidad y dirección del viento Velocidad de viento- Rango: 0 a 50 m/s- Supervivencia de ráfagas: 60 m/s - Sensor: conjunto de rueda de copa de 12 cm de diámetro- Precisión: ± 0.5 m/s- Factor de giro: 75 cm Dirección del viento- Rango mecánico: 360°- Gama eléctrica: 352° (8° abierto)- Tiempo de estabilización: 20 ms- Sensor: paleta balanceada; Radio de giro de 16 cm- Precisión: ± 5°- Relación de amortiguamiento: 0.2- Umbral inicial: 0.8 m/s con desplazamiento de 10°; 1.8 m/s con desplazamiento de 5°- Incluye 10 metros de cable</p>	3	1705.00	5115.00

<p>SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR- Norma ISO 9060:2018 Clase C- Fuente de alimentación: autoalimentado- Sensibilidad: 0,2 mV por <math>W m^{-2}</math>- Factor de calibración: <math>5W m^{-2}</math> por mV (recíproco de sensibilidad)- Incertidumbre de calibración a <math>1000 W m^{-2}</math>: Menos de 3% - Rango de salida calibrado: 0 a 400 mV- Repetibilidad de la medición: Menos que 1 %- No estabilidad (deriva a largo plazo): Menos del 2 % anual- No linealidad: Menos del 1 % (hasta <math>2000 W m^{-2}</math>)- Tiempo de respuesta: Menos de 1ms- Campo de visión: <math>180^{\circ}</math>- Rango espectral: 360 a 1120 nm (longitudes de onda donde la respuesta es el 10 % del máximo)- Respuesta direccional (coseno): <math>\pm 5\%</math> en un ángulo cenital de <math>75^{\circ}</math>- Respuesta de temperatura: <math>0,04 \pm 0,04\%</math> por C- Entorno operativo-40 a 70 C; 0 a 100 % de humedad relativa; se puede sumergir en agua hasta profundidades de 30m- *Incluye soporte de montaje con nivelación incluida y 5m de cable</p>	3	455.40	1366.20
<p>SENSOR DE PRESIÓN BAROMÉTRICA- rango de presión: 600 a 1100 hpa - estabilidad a largo plazo: <math>\pm 0.1</math> hpa por año- tiempo de respuesta: &lt;100 ms - resolución: <math>\pm 0.01</math> hpa- excitación: 9.5 a 28 vcc- exactitud: <math>\pm 0.5</math> hpa (<math>+ 20^{\circ}c</math>; <math>\pm 1.0</math> hpa (<math>0^{\circ}c</math> a <math>40^{\circ}c</math>), <math>\pm 1.5</math> hpa (<math>-20^{\circ}c</math> a <math>+ 50^{\circ}c</math>), <math>\pm 2.0</math> hpa (<math>-40^{\circ}c</math> a <math>+ 60^{\circ}c</math>) - linealidad: <math>\pm 0.4</math> hp- histéresis: <math>\pm 0.05</math> hpa- repetibilidad: <math>\pm 0.03</math> hpa- tiempo de calentamiento: &lt;1 s- rango de temperatura de funcionamiento: <math>- 40^{\circ} a + 60^{\circ}c</math></p>	3	1485.00	4455.00
<p>GABINETE DE EQUIPOS- Material: Fibra de vidrio moldeada y comprimida al caliente, reforzada con poliéster (termoestable).- Resistente a la corrosión, radiación ultravioleta y sustancias químicas.- Protección a prueba de agua y polvo.- Dimensiones externas: (445 x 392 x 195mm- Clasificación de protección: NEMA 4X- Bisagras de acero inoxidable.- El gabinete alojará en su interior: registrador de datos, controlador de carga y batería. Incluye:- Panel metálico interno para montaje de elementos en gabinete. - Juego de soportes en material inoxidable para montaje en estructura de torre de soporte.- Riel DIN y tope para riel DIN.- Fusible y portafusible. - Canaleta- Terminales de PIN - Borneras y accesorios de armado para conexión de sensores- 2 paquetes de desecante para prevención de humedad.- 1 candado.</p>	3	1199.00	3597.00
<p>PANEL SOLAR 50W 12V- potencia: 50 w- voltaje nominal: 12 v- Incluye: - Base de soporte metálica para montaje en mástil de <math>1\frac{1}{2}</math>" - Cable de conexión de 6 metros</p>	3	192.50	577.50
<p>CONTROLADOR DE CARGA- TÉCNICAS- Entrada nominal de luz y solar: 10 A (170 vatios)- Voltaje de regulación: 14.3 V- Desconexión de baja tensión: 11.5 voltios- Reconexión de baja tensión: 12.6 voltios- Tipo de carga: 4 etapas: carga compensada, PWM, aumento de presión y temperatura de flotación- Autoconsumo: 8mA- Temperatura de funcionamiento: <math>-25^{\circ} C</math> a <math>+ 50^{\circ} C</math>- MECÁNICAS:- Terminales: Para tamaños de cable hasta <math>4 mm^2</math>.- Cierre: IP 22 - Epoxi encapsulado- Dimensiones (H X W X D): <math>6'' \times 2.6'' \times 1.4''</math> (<math>15.1 \times 6.6 \times 3.6</math> cm)- Peso: 4 oz (113 g)</p>	3	104.50	313.50
<p>BATERÍA RECARGABLE 12V 18a- Cubierta: Plástico ABS resistente a golpes. - Voltaje nominal: 12 voltios- Capacidad nominal: 18 Amperios- Rango de temperatura: De descarga: <math>-40^{\circ} C</math> a <math>+ 60^{\circ} C</math> (<math>-40^{\circ} F</math> a <math>+ 140^{\circ} F</math>); De carga: <math>-40^{\circ} C</math> a <math>+ 50^{\circ} C</math> (<math>-40^{\circ} F</math> a <math>+ 122^{\circ} F</math>)- Peso aproximado: 5.7kg</p>	3	99.00	297.00

TORRE DE 10M- Fabricación nacional.- Altura de 10m.- Material: tubo galvanizado de 1 pulgada con varilla corrugada, recubrimiento con pintura electrostática al horno.- Incluye base para soporte, pernos de ensamblaje, cables de vientos, tensores.

3 1320.00 3960.00

SISTEMA DE PARARRAYOS Y PUESTA A TIERRA- 1 pararrayos de una punta en acero inoxidable.- 1 aislador de polímero y platina de acero inoxidable.- 4 varillas de cobre de 180 cm de largo x 5/8" de diámetro.- 15 metros de cable de cobre desnudo, calibre 1/0.- 5 cartuchos de suelda exotérmica para unión de cable y varillas de cobre.- 4 sacos de intensificador de tierra GEM.- Amarras plásticas.- Grilletes.- Talón de tierra para gabinete de equipos.

3 1045.00 3135.00

VALOR 15866.40 47599.20

IVA 2475.1584 7425.48

TOTAL 18341.56 55024.68

### Estaciones hidrológicas

DESCRIPCION TECNICA DEL PRODUCTO	CTD	PRE. UND	TOTAL
<p>Pluviómetro para registro de lluvia con registrador de datos autónomo - Pluviómetro de cubeta basculante, registro de datos de precipitación, registrador de eventos de lluvia y temperatura, soporte lateral y de base, auto vaciante. Intensidad máxima de registro de lluvia: 100 mm/h, Resolución: 0.2 mm, Rango de temperatura operativa: 0° a 50 °C, Rango de temperatura de almacenamiento: -20 a 70°C, Condiciones de ambiente: A prueba de intemperie. Datalogger: Resolución de marca de tiempo: 1 segundo, Precisión de tiempo: ± 1 minuto/mes, Rango de operación: -20 a 70°C, Batería: Litio, duración típica de un año, Memoria: 25K a 30K bytes (3000 mm). Medidas de temperatura: Rango: -20 a 70°C, Precisión: ± 0.54°C de 0° a 50°C, Resolución: 0.10°C, Desvío: &lt; 0.1°C/año. Incluye: Mástil, Montaje y programación, Revisión de estado físico, Limpieza.</p>	3	619.77	1859.32
<p>Sensor de nivel de agua con medida de presión compensada -Sensor de presión hidrostática de tubo ventilado, registrador automático de datos de presión/nivel de agua, compensado temperatura y tiempo de registro, acero inoxidable 316 o titanio. Sensor: Rango de temperatura operativa: -15° a 55°C, Rango de medición: 0 a 10 m, Unidades: mH2O, Resolución: 0.0034% FS, Precisión: ±0.05% FS, Condiciones de ambiente: A prueba de intemperie, Batería: Estándar cambiabile. Registrador de datos: Tipo de memoria: No volátil, Capacidad de memoria: 3 a 4 MB, Rango de temperatura de almacenamiento: -40° a 80°C, Tiempo de respuesta: 8x/segundo, Cables: Polietileno, poliuretano, FEP, Software de control. Medidas de temperatura: Rango: -15° a 55°C, Precisión: ±0.5°C (0° a 55°C), ±2.0°C (bajo 0°C), Resolución: 0.10°C, Unidades: Celsius. Incluye: Montaje, Mantenimiento dos veces al año.</p>	3	2082.84	6248.52

Equipo de medición de calidad de agua que no considera presión hidrostática -Sonda multiparamétrica, sensores cambiables, batería de larga duración, limpiaparabrisas, medición de temperatura del agua, pH, conductividad, turbiedad. Sonda: Temperatura de operación: -5 a 50° C, Opciones de salida: RS-485/MODBUS SDI-12, Toma de lectura: Mínimo una cada 2 segundos, Memoria interna: 16 MB, Duración de la batería: 6 meses. Sensores: Temperatura: Precisión: $\pm 0.1^\circ \text{C}$ , Rango: -5 a 50° C, Resolución: $0.01^\circ \text{C}$ , Tiempo de respuesta: T63<2s, T90<15s, Unidad: Celsius/Fahrenheit. pH: Precisión: $\pm 0.1$ , Rango: 0 a 14, Resolución: 0.01, Tiempo de respuesta: T63<3s, Unidad: pH mV. ORP: Precisión: $\pm 5 \text{ mV}$ , Rango: $\pm 1400 \text{ mV}$ , Resolución: 0.1 mV, Tiempo de respuesta: T63<3s, Unidad: mV. Conductividad: Precisión: $\pm 0.5\%$ lectura, Rango: 0 a 350000 $\mu\text{S/cm}$ , Resolución: 0.1 $\mu\text{S/cm}$ , Tiempo de respuesta: T63<1s, Unidad: $\mu\text{S/cm}$ . Turbiedad: Precisión: $\pm 2\%$ , Rango: 0 a 4000 NTU, Resolución: 0.01 NTU, Tiempo de respuesta: T63<1s, Unidad: NTU. Incluye: Kit de calibración, Montaje, Mantenimiento dos veces al año.	3	11497.15	34491.44
Vertederos para medición de caudal	3	806.36	2419.07
Infraestructura para instalación de sensores de calidad de agua y presión hidrostática	3	279.10	837.31
Cerramientos de seguridad para pluviómetros	3	685.19	2055.57
<b>VALOR</b>		15970.41	47911.22
<b>IVA</b>		2395.5608	7186.68225
<b>TOTAL</b>		18365.97	55097.90

### Estaciones pluviométricas

DESCRIPCION TECNICA DEL PRODUCTO	CTD	PRE. UND	TOTAL
Pluviómetro para registro de lluvia con registrador de datos autónomo - Pluviómetro de cubeta basculante, registro de datos de precipitación, registrador de eventos de lluvia y temperatura, soporte lateral y de base, auto vaciante. Intensidad máxima de registro de lluvia: 100 mm/h, Resolución: 0.2 mm, Rango de temperatura operativa: 0° a 50 °C, Rango de temperatura de almacenamiento: -20 a 70°C, Condiciones de ambiente: A prueba de intemperie. Datalogger: Resolución de marca de tiempo: 1 segundo, Precisión de tiempo: $\pm 1$ minuto/mes, Rango de operación: -20 a 70°C, Batería: Litio, duración típica de un año, Memoria: 25K a 30K bytes (3000 mm). Medidas de temperatura: Rango: -20 a 70°C, Precisión: $\pm 0.54^\circ \text{C}$ de 0° a 50°C, Resolución: $0.10^\circ \text{C}$ , Desvío: $< 0.1^\circ \text{C/año}$ . Incluye: Mástil, Montaje y programación, Revisión de estado físico, Limpieza.	4	619.77	2479.09
Cerramientos de seguridad para pluviómetros	4	685.19	2740.76
<b>VALOR</b>		1304.96	5219.85
<b>IVA</b>		195.74445	782.9778
<b>TOTAL</b>		1500.71	6002.83