



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Diseño de una red de monitoreo integral del recurso hídrico en la
microcuenca del río Tabacay**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: GIANELA LISBETH GUTIERRES AGUIRRE

DIRECTOR: ING. JORGE RODRIGO CASTILLO GUEVARA Mgs.

MATRIZ CUENCA

2017

DECLARACIÓN

Yo, Gianela Lisbeth Gutierrez Aguirre, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Gianela Lisbeth Gutierrez Aguirre

C. I: 210027912-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gianela Lisbeth Gutierrez Aguirre, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Rodrigo Castillo Guevara Mgs.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento al director y codirector de mi trabajo de investigación Ing. Jorge Castillo Guevara e Ing. Carlos Matovelle Bustos, por la dedicación, dirección, conocimiento científico y apoyo que han brindado a este trabajo. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.

Así mismo, agradezco a las instituciones que estuvieron siempre con la predisposición de acompañarnos en las salidas de campo y facilitarnos información valiosa para nuestro trabajo.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Gracias a mi madre, hermanos y familia, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar, este trabajo es también el suyo.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo.

A todos ustedes, muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico a mi Madre Ruth Jane Aguirre Ordoñez, mi inspiración y ejemplo de mujer, gracias por estar siempre apoyándome y creer en mí.

A mis hermanos, familia y amigos en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera Universitaria.

Gianela Lisbeth Gutierrez Aguirre

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA MICROCUEENCA DEL RÍO TABACAY.....	- 1 -
1. Introducción.....	- 1 -
1. Objetivos.....	- 2 -
1.1. Objetivo general.....	- 2 -
1.2. Objetivos específicos.....	- 2 -
2. Marco Conceptual.....	- 2 -
2.1. Marco normativo.....	- 2 -
2.2. Diagnóstico situacional.....	- 3 -
Microcuenca del río Tabacay.....	- 3 -
2.3. Fundamentación teórica.....	- 7 -
Monitoreo.....	- 7 -
3. Materiales y métodos.....	- 22 -
3.1. Salida de campo.....	- 22 -
3.2. Análisis de datos.....	- 22 -
Percepción de la población ante la contaminación del agua del río Tabacay.....	- 23 -
3.3. Delimitación de la zona de estudio.....	- 25 -
Generación de información cartográfica.....	- 25 -
Parámetros morfométricos.....	- 26 -
3.4. Diseño de las redes de monitoreo.....	- 27 -
Generación de la red de estaciones meteorológicas.....	- 27 -
Generación de la red de estaciones de aforo.....	- 28 -
Generación de la red de calidad de agua.....	- 30 -
4. Resultados.....	- 32 -

4.1.	Red de estaciones meteorológicas	- 32 -
4.2.	Red de estaciones de aforo	- 37 -
4.3.	Red de estaciones de calidad de agua	- 41 -
4.4.	Plan de monitoreo.....	- 44 -
	Monitoreo de calidad.	- 44 -
	Monitoreo de estaciones meteorológicas.....	- 48 -
	Monitoreo de estaciones de aforo.....	- 49 -
5.	Conclusiones	- 51 -
6.	Recomendaciones	- 52 -
7.	Referencias bibliográficas	- 53 -
8.	Anexos	- 57 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca en estudio.....	- 4 -
Figura 2. Puntos de muestreo de calidad y caudales / estaciones de monitoreo del clima - EMAPAL EP.....	- 25 -
Figura 3. Isoyetas considerando el gradiente altitudinal - Red de Estaciones Meteorológicas.....	- 34 -
Figura 4. Área de influencia de las estaciones meteorológicas.....	- 36 -
Figura 5. Datos de caudal registrados.	- 38 -
Figura 6. Linealidad del caudal.	- 39 -
Figura 7. Red de estaciones hidrológicas en la microcuenca del río Tabacay.	- 40 -
Figura 8. Red de estaciones de calidad hídrica, en base a los posibles focos de contaminación.....	- 43 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros climatológicos de la estación Nudpud.....	- 24 -
Tabla 2. Puntos de muestreo de calidad y caudales, empresa EMAPAL EP.....	- 24 -
Tabla 3. Estaciones con las que cuenta EMAPAL EP en la microcuenca.....	- 24 -
Tabla 4. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Tabacay.	- 26 -
Tabla 5. Estaciones meteorológicas y objetivos.....	- 33 -
Tabla 6. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la microcuenca.	- 35 -
Tabla 7. Plantilla para el procesamiento de datos.	- 37 -
Tabla 8. Estaciones de aforo y objetivos.....	- 39 -
Tabla 9. Ubicación de las estaciones de aforo en la microcuenca.	- 41 -
Tabla 10. Estaciones de calidad y objetivo.	- 42 -
Tabla 11. Ubicación de las estaciones de calidad de agua en la microcuenca.	- 44 -
Tabla 12. Plan de monitoreo de las estaciones de calidad de agua.....	- 45 -
Tabla 13. Técnicas para la conservación de las muestras. INEN 2169: 2013.	- 46 -
Tabla 14. Plan de monitoreo de estaciones meteorológicas.....	- 49 -
Tabla 15. Plan de monitoreo de estaciones de aforo.	- 49 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Recorrido de la zona de estudio y su sistema natural.	- 57 -
Anexo B. Descanso del recorrido de la zona de estudio.	- 57 -
Anexo C. Sistema natural de la microcuenca del río Tabacay.	- 58 -
Anexo D. Actividad ganadera en la microcuenca.....	- 58 -
Anexo E. Captación Nudpud.	- 59 -
Anexo F. Captación Rosario.....	- 59 -
Anexo G. Captación Condoryacu.	- 60 -

RESUMEN

La deficiente red de monitoreo del recurso hídrico con la que cuenta actualmente la microcuenca del río Tabacay genera vacíos de información sobre parámetros hidrológicos y calidad de agua. La expansión de las actividades antropogénicas, como la ganadería y agricultura en lugares no destinados para su uso afectan la calidad de las fuentes, dejando a la microcuenca vulnerable a contaminarse por encima de los límites permisibles, afectando no solo al ser humano, sino a todo ser vivo que consume el agua. Se plantea diseñar una red de monitoreo integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay, para mantener un estudio permanente de su comportamiento, a partir del monitoreo hidrológico y calidad, con la finalidad de tener series históricas que sirvan de fundamento para posteriores estudios hidrológicos relacionados a la protección y conservación del recurso, cuya investigación se llevará a cabo en el cien por ciento de la microcuenca del río Tabacay que comprende un área de 66,85 km².

PALABRAS CLAVES: MICROCUENCA TABACAY, RECURSO HÍDRICO, MONITOREO HIDROLÓGICO, CALIDAD DEL AGUA.

ABSTRACT

The deficient network of monitoring of the hydric resource with which the micro-basin of the Tabacay river currently has generated gaps in information on hydrological parameters and water quality. The expansion of anthropogenic activities, such as livestock and agriculture in places not intended for use, affect the quality of the sources, leaving the micro-watershed vulnerable to pollution beyond the permissible limits, affecting not only the human being, but also all being alive that consumes the water. It is proposed to design a network of integral monitoring of the hydric resource in the micro-basin of the Tabacay river, to maintain a permanent study of its behavior, based on hydrological monitoring and quality, in order to have historical series that serve as a foundation for later hydrological studies related to the protection and conservation of the resource, whose research will be carried out in one hundred percent of the micro-basin of the Tabacay river, comprises an area of 66,85 km².

KEYWORDS: MICRO-BASIN TABACAY, HYDRIC RESOURCE, HYDROLOGICAL MONITORING, WATER QUALITY.

DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY

1. INTRODUCCIÓN

Se conceptualiza el monitoreo del agua como un programa de continua supervisión diseñado para observar, medir, muestrear y analizar mediante métodos técnicos normalizados las variables físicas, químicas y biológicas.

El trabajo de graduación consiste en diseñar una red de monitoreo integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay, donde se mantendrá un estudio permanente de su comportamiento, a partir del monitoreo hidrológico y de calidad.

Consta de cuatro capítulos. El primer capítulo está relacionado al monitoreo, diseño, calidad y fisiografía de la microcuenca. El segundo capítulo se enfoca en la metodología que se utiliza para llevar a cabo el diseño de la red de monitoreo, que consta de reconocimiento de la zona de estudio, revisión de bibliografía, diseño de la red de monitoreo hidrológico y calidad a partir de mapas con la delimitación en unidades hidrográficas, ríos, centros poblados y zonas urbanas, captaciones de agua para uso poblacional, fuentes contaminantes provenientes de actividades industriales, agrícolas, ganaderas, y toda información concerniente al área a evaluación. En nuestro último capítulo se realiza un análisis de resultados tomando en cuenta las consideraciones propuestas.

Considero que mi trabajo de graduación es de importancia compartida tanto para la población como para la empresa encargada del agua potable de la ciudad de Azogues. La importancia en la sociedad es porque ellos aprovechan el recurso en diversas actividades productivas, y en la empresa pública encargada del agua potable porque esta tendría un mejor sistema de monitoreo del recurso hídrico adaptado a las condiciones de la zona.

Implementando este sistema técnico de monitoreo, se generará series históricas de datos que servirán de cimiento para posteriores estudios hidrológicos y de calidad relacionados a la conservación y protección del recurso hídrico; a su vez para conocer el estado de conservación de la microcuenca y crear sistemas de alerta temprana ante las eventualidades que pudiesen ocurrir dentro de este cuerpo hídrico.

Las dificultades que se presentaron en el trabajo de investigación consistieron en lo siguiente: que el sistema de monitoreo actual reporta datos con problemas en donde la precipitación caída en la cuenca por algunos años no tiene registros, esto puede ser

atribuido por los técnicos encargados del monitoreo o la calibración de los instrumentos de medición, y el difícil acceso a la zona de estudio que impide la identificación de las diferentes actividades antrópicas.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

Diseñar una red de monitoreo integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay, para mantener un estudio permanente de su comportamiento, a partir del monitoreo hidrológico, meteorológico y calidad.

1.2. Objetivos específicos

Reconocer la zona de estudio mediante la caracterización morfométrica de la microcuenca.

Diseñar una red de monitoreo de calidad y parámetros hidrológicos, a partir del conocimiento de la microcuenca, utilizando Sistemas de Información Geográfica para integrar los datos.

Establecer una propuesta de plan de monitoreo del recurso hídrico en la microcuenca, mediante el establecimiento de la frecuencia y los parámetros de control.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Marco normativo

En países en vías de desarrollo un problema importante que presentan es no poseer cimientos legales para actuar rápidamente sobre problemas de contaminación, a pesar de todo, han establecido mecanismos legales que sirven de progreso en la conservación de la microcuenca.

El mecanismo impulsa el soporte legal para promover el Plan de manejo de la microcuenca del río Tabacay. El GAD de Azogues y el Centro Universitario Acompañamiento Organizacional al Desarrollo de la Universidad de Cuenca, son los encargados y garantes del mecanismo del proyecto.

Ellos toman como soporte las leyes nacionales que se sujetan a la protección de los recursos naturales, siendo estas:

- Constitución política de la República del Ecuador (2008)
- Ley de régimen provincial y municipal
- Ley de gestión ambiental
- Ley de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua

- Ley de aguas
- Ley de prevención y control de la contaminación ambiental
- Ley forestal y de conservación de áreas naturales y vida silvestre
- Ley del sistema nacional de ciencia y tecnología
- Ley para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad
- Código de la salud
- Código orgánico del ambiente

Poseer un mecanismo legal íntimamente ligado a la protección de los ecosistemas de la microcuenca en estudio, es un efecto necesario para proceder en medidas de mitigación, remediación, conservación y preservación.

Se ha conseguido establecer acuerdos recíprocos por el agua (ARA) en la microcuenca de estudio conjuntamente con los beneficiarios, donde ellos aportan económicamente en las planillas de agua potable un capital para generar planes de conservación. Al tener estos fondos se compensa e incentiva a la población de la parte alta de la microcuenca a proteger los recursos, efectuando mejores prácticas productivas accesibles a una excelente calidad del agua.

2.2. Diagnóstico situacional

Microcuenca del río Tabacay.

Descripción de la zona de estudio.

La microcuenca del río Tabacay es parte de la subcuenca del río Burgay, cuya superficie es de 66, 85 km², el cual proporciona de agua potable a la zona rural y urbana de la ciudad de Azogues. Dicha microcuenca se encuentra entre las coordenadas planas UTM 737700 - 748230 Este y 9698000 – 9709300 Norte y sus afluentes son las quebradas Llaucay, Nudpud, Cóndor Yacu, Rosario, Mapayacu y Rubís.

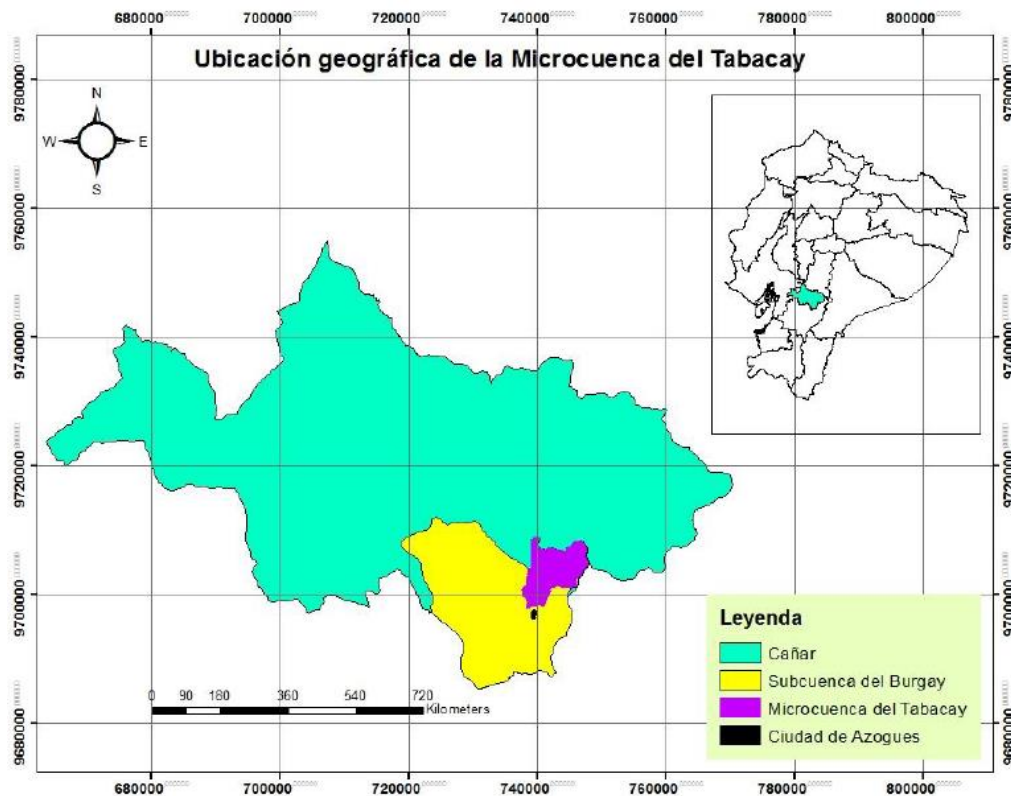


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca en estudio.

Fuente: Mora Quizhpi Juan Rubén. 2017

La superficie de estudio corresponde al total de la microcuenca que está diferenciada por dos zonas estratégicas, la primera es la parte alta que consta de páramo y baja intervención antropogénica, y la segunda una parte baja donde se resume la contaminación de las actividades producidas por el hombre que se llevan a cabo dentro de este cuerpo hídrico. La microcuenca en su totalidad está conformada por seis quebradas de las cuales solo tres poseen captaciones siendo este el objetivo primordial del estudio, ya que sus afluentes son usados para procesos de potabilización y luego abastecer a la población. Para delimitar el área de estudio se necesita un modelo digital de elevaciones (DEM) y la red hidrográfica que atraviesa la microcuenca, se geoprocesa esta información mediante el empleo de herramientas SIG en ArcGis, obteniendo como resultado la delimitación de la microcuenca.

Ecosistema de alta montaña y su hidrología.

A estos ecosistemas se los conoce como las reservas de agua del mundo por el proceso de generar y regular los flujos de las redes hidrográficas desde las nacientes hacia las zonas inferiores.

Los entornos de alta montaña se van diferenciando según la altitud a la que se ubican, así están “*los bosques alto-andinos que se desarrollan entre los 1500 y 3500*

msnm” (Tabon, 2009) y “*los páramos que se desarrollan a partir de los 3500 a 5000 msnm*” (Buytaert, De Bièvre, Célleri, & Cisneros, 2006) . La flora se distingue en estos bosques y la neblina espesa juegan un papel importante, por la intercepción de ambas, forjando a obtener una mayor cantidad de agua que es aprovechada por los bosques, mismos que almacenan el recurso hídrico para luego liberarla por procesos específicos de estos entornos. (Tabon, 2009). En ecosistemas de páramos el “*gradiente altitudinal a los 3500 m es 7 °C y decrece en una tasa de 0,5 a 0,6 °C por cada 100 m de altura*”. (Buytaert, De Bièvre, Célleri, & Cisneros, 2006)

Páramo.

El “*páramo es un ecosistema natural que se encuentra en el límite continuo del bosque y de las nieves perpetuas, en la alta montaña tropical húmeda*”. (Llambí, y otros, 2012) En países como Ecuador, Perú, Venezuela y Colombia el ecosistema páramo se localiza entre los 3000 y 5000 msnm, son muy importantes porque alojan una gran biodiversidad y especialmente por ser quienes abastecen de agua a poblaciones.

“*Existe muy poco conocimiento y estudio sobre el funcionamiento y comportamiento de este ecosistema desde varios puntos de vista, entre ellos el hidrológico*” (Llambí, y otros, 2012). El escaso conocimiento nos impide darnos cuenta del daño que causamos por las diferentes prácticas antrópicas a los procesos hidrológicos, por ejemplo el cambio del uso del suelo y su cobertura. Por esto es importante tener un estudio permanente del ecosistema páramo, contaríamos con información científica para planes de manejo del agua bien respaldados. (Célleri, De Bièvre, & Iñiguez, 2012)

Al sur del país encontramos el “Parque Nacional el Cajas” (páramo), mismos que son valles y explanadas escabrosas de “*origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas*” (De Bièvre, Iñiguez, & Buytaert, 2011). El para cuenta con un clima frío y a temperaturas medias de 7°C con precipitaciones anuales altas. Sus suelos son semejantes formados por “*andosoles e histosoles y se asientan sobre roca madre a una altura no mayor a tres metros de profundidad*” (Llambí, y otros, 2012).

Sumadas estas particularidades a una disminuida evapotranspiración, se genera un fluido de agua que sustenta quebradas y ríos (De Bièvre, Iñiguez, & Buytaert, 2011).

Bosque alto-andino.

Según Tobón, (2008) el clima y la distribución de las precipitaciones son de gran importancia en la hidrología de los bosques alto-andinos; es decir generalmente esto se determina por el grado de exhibición a masas de nubes, la altitud y localización de los bosques. “*La conducta hidrológica se ve influenciado por dos factores: 1) la baja evapotranspiración y 2) entradas de agua debido a precipitaciones muy altas*” (Tabon,

2009). La precipitación en estos ecosistemas se intensifican por la contribución de agua de parte de la niebla y la lluvia horizontal, en adición los procesos de evapotranspiración llegan inclusive a reducirse por la nubosidad (Tabon, 2009). Para tener un entorno con excelente regulación hídrica se debe contar con suelos porosos, conductividad hidráulica, retención de agua y capacidad de infiltrar (Tabon, 2009). Según Stadtmüller, (1987) citado en (Tabon, 2009), el mantenimiento de los caudales base y la regulación de la escorrentía tienen que ver con la existencia de vegetación. Finalmente, el rendimiento hídrico se encuentra relacionado con componentes como: alta humedad relativa presente en forma permanente, baja temperatura, presencia de epifitas y un horizonte orgánico avanzado, que al acoplarse brindan ambientes con caudales invariables y suelos saturados (Tabon, 2009).

Varios autores coinciden en que ha llegado el tiempo decisivo para tomar medidas en asuntos a escala mundial, tal es el caso de los ecosistemas de alta montaña, están entrelazados con la biodiversidad y los recursos hídricos (Bruijnzee & Hamilton, 2000). Este es un reto ambiental muy importante que la población y en especial las entidades gubernamentales competentes tendrán que enfrentar (Manson, 2004). En países como México, un problema causado por la mala administración del recurso hídrico es la pérdida de los servicios hidrológicos y la deforestación. (Tabon, 2009)

La gestión del agua en las cuencas.

Se define como cuenca hidrográfica a la superficie donde se forma un flujo principal procedente de las precipitaciones. *“Es la unidad fisiográfica conformada por el sistema de cursos de agua y corresponden a las partes altas del área que encierra un río”* (Ramakrishna, 1997).

Dentro de las cuencas hidrográficas *“se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos”* (Moreno Tovar, Toro Botero, & Carvajal, 2008). Actualmente se les considera un excelente medio para plantear e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas (Mora Quizhpi, 2017). Si se considera la cuenca como elemento de vigilancia y cumplimiento de proyectos, programas y planes de recuperación de los recursos naturales, *“se lograría un proceso de planeación y acción efectivo al tener un medio agroecológico y social relativamente semejante”* (Casillas González, 2003). Es indispensable el diagnóstico y la caracterización de la unidad hidrográfica, donde en el diagnóstico se recoge información sobre la capacidad, los servicios que ésta brinda, estado, situación integral (componentes y actores); por otro lado la caracterización se centra en considerar parámetros que representan la armazón física de la cuenca con el

objetivo de formar restricciones, posibilidades e identificar problemas en la zona de interés.

Climatología.

Según Luis Naranjo (2013), la climatología “*se ocupa del estudio del clima y sus variaciones a lo largo del tiempo cronológico*”. Su objetivo es diferente aunque use parámetros iguales a la meteorología, “*no pretende hacer predicciones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo*” (Naranjo Gaibor, 2013).

La climatología usa variables meteorológicas que pueden ser registradas en varios tipos de estaciones. Entre las variables a medir están la temperatura del aire, humedad atmosférica, precipitación atmosférica, evaporación, nubosidad, evapotranspiración, dirección y velocidad del viento.

Calidad del agua.

Esta se determina con la cantidad, presencia de contaminación, conductividad y factores fisicoquímicos como: turbidez, nitratos, sólidos totales, “*fosforo total, temperatura, DBO (5 días), potencial hidrógeno, coliformes fecales, coliformes totales, dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto y color verdadero*” (Reyes Ponce, 2006). Dependiendo del uso que se le vaya a dar se establece la calidad del agua, entonces “*un agua está contaminada cuando sufre cambios y estos afectan a su uso real o potencial*” (Sucuzhañay Guamán, 2017)

La normativa que compruebe si el agua es apta para consumo humano es el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA), a partir de sus parámetros de calidad.

2.3. Fundamentación teórica

Monitoreo.

Según Moreno Agustín, Toro Mauricio y Carvajal Luis, el monitoreo ideal, debe estar en la capacidad de dar respuestas a: ¿qué monitorear?, ¿cuánto monitorear?, ¿cómo se lo va a hacer?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿cómo va a ser evaluada la certeza de la red?, estas respuestas van a estar sujetas a los objetivos del estudio de monitoreo, de las particularidades de la fuente, de la variación de las medidas, fiabilidad de las variables y por supuesto la disponibilidad del recurso (Moreno Tovar, Toro Botero, & Carvajal, 2008).

Al diseñar una red de monitoreo ésta deberá cumplir ciertas metas u objetivos, estos dependerán de aspectos políticos regionales y nacionales, tipos de corrientes y la

utilidad del recurso hídrico en la zona de monitoreo. Estos objetivos buscan el seguimiento, vigilancia y control del recurso, y por último el modelamiento del recurso y sus contaminantes.

Proponen (Eyre & Pepperell, 1999) que para un programa de monitoreo a escala de cuencas se puede dividir en tres categorías:

Muestreo rutinario: se define como *“la recolección periódica de muestras en un número pequeño de estaciones fijas”*. (Eyre & Pepperell, 1999)

Muestreo de eventos: se realiza en el límite de la sub-cuenca donde se estima *“la cantidad de carga contaminante que sale de dicha área en un evento determinado”*. (Eyre & Pepperell, 1999)

Muestreo intensivo: se realiza en múltiples lugares en cortos periodos de tiempo, para tener *“información en condiciones estables del río, la geología y las cargas puntuales en la calidad del agua”*. (Eyre & Pepperell, 1999)

La finalidad de una red de monitoreo es generar datos confiables sobre la calidad y cantidad del recurso, al mismo tiempo que sirva como materia para planificar, formular, evaluar y ejecutar políticas que se orienten a mejorar la calidad del agua para luego propagar la información de forma que toda la población la entienda. (Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano Quito, 2017)

Los indicadores de una red de monitoreo según Buccheri y Comellas (2012), *“un indicador cuantifica y simplifica un fenómeno, nos ayuda a entender realidades complejas y nos dice algo acerca de los cambios en un sistema”*. Un indicador mide y adiciona información que puede medirse y así establecer si se está dando una variación en un sistema específico. (Buccheri & Comellas, 2012)

Maniobrar una red engloba las siguientes labores:

- Visitar y calibrar equipos habitualmente donde se ubiquen las estaciones.
- Coordinar la recolección de las muestras.
- Registro de datos de calidad proporcionados por los equipos.
- Valoración de los equipos y si alguno esta defectuoso reponerlo.

Finalmente la red de monitoreo nos suministra información sobre el estado de los causes al obtener datos sobre la agrupación de sustancias ajenas y que están en el recurso hídrico por los vertidos de industrias, residencias u otras actividades localizadas aguas arriba de las estaciones de monitoreo. Permittiéndonos planificar el uso del recurso hídrico a partir de planes seguros con la visión de tener una excelente calidad

de ríos. En la actualidad existen entidades ligadas con la defensa del agua y buscan “destinar recursos a los ríos de países en vías de desarrollo, situación que puede ser aprovechada para mejorar los sistemas de monitoreo y prevención”. (Salazar, 2000)

Monitoreo hidrológico.

La hidrología es la rama que “estudia las aguas superficiales y subterráneas, su circulación y distribución, tanto en tiempo como en el espacio, sus propiedades biológicas, químicas y físicas” (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2012), y también la correlación con los seres vivos y el entorno.

La hidrología tiene como objetivo principal y especialmente la hidrometría, proporcionar datos que se relacionen con la repartición del recurso hídrico sobre el planeta; información requerida para estudios hidrológicos y planes de manejo precisos, por lo que es fundamental estar al tanto del comportamiento de la red hidrológica.

Según la Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas Andinos toma en consideración mediciones de precipitación y caudales cuya información nos ayuda a cuantificar la cantidad de agua que entra y sale de la unidad hidrográfica. Con el fin de que ésta información sea favorable para ayudar a complementar los esfuerzos de las institutos nacionales de hidrología y meteorología (Célleri, De Bièvre, & Ochoa, 2012).

Los lugares del monitoreo hidrológico se han establecido según los “sitios de aprovechamiento hídrico como captaciones, presas y otros, correspondientes a cuencas de tamaño mediano y grande (sobre los 50 km²)” según Célleri, De Bièvre, & Ochoa (2012), en donde coexiste una gran variedad de usos de tierra y entornos.

Red de estaciones meteorológicas.

Una red de estaciones “consiste en varias estaciones del mismo tipo (tales como un conjunto de estaciones pluviométricas o estaciones climatológicas)” (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011), administrándose en conjunto. Según la OMM (2011), cada una de estas redes deberá perfeccionarse en dar buenos resultados en su funcionamiento y a su vez facilitar datos.

Una estación es un equipo destinado a medir y registrar diversas variables meteorológicas en un periodo de tiempo determinado y se utiliza para elaborar predicciones “a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos” (INAMHI, 2015).

Para emplazar nuevas estaciones de monitoreo se “sigue un esquema en el cual se trabaja sobre tres aspectos: número de estaciones a instalarse, sitios de monitoreo y

tipo de estación a instalar” (Mora Quizhpi, 2017). Según el sitio a monitorear, primero se elige una zona apropiada para instalar los aparatos, tomando en cuenta la unidad hidrográfica. La altura es un factor importante a tomar en cuenta, ya que estas determinan las condiciones climáticas, a diferente altura estas varían. La estabilidad del terreno está influenciada por la pendiente, así como la *“accesibilidad al mismo y la seguridad para los equipos y para el personal”* (Mora Quizhpi, 2017).

Según la OMM (2011), las estaciones se ubicarán de acuerdo a las particularidades del clima representativas, con el objetivo de que se ajusten a todos los diferentes tipos de suelo y a la cobertura superficial. La *“densidad de la estación deberá depender de la finalidad con la que se efectúan las observaciones y el uso que se hará de los datos”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011). Para lugares donde la salud o las actividades productivas son susceptibles a cualquier cambio, se necesitan una mayor cantidad de estaciones de monitoreo y una menor cantidad donde la población sea mínima. Para establecer una red se debe *“se ha de adoptar una solución intermedia entre la densidad ideal de las estaciones y los recursos disponibles para instalar, explotar y administrar dichas estaciones”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011)

Para la ubicación de una estación climatológica se tendrá en cuenta el espacio, mismo que admita una exhibición de los equipos. *“Las estaciones climatológicas ordinarias y principales deberán estar situadas en una parcela de terreno plano cubierto de césped corto”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2010); en lo mayor posible deben estar lejos de zonas que impidan la medición correcta de las variables (árboles, edificios y otros). *“Si se va a instalar un pluviómetro, además de otros sensores, es preferible que la parcela sea más grande (10 metros por 7 metros)”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2010).

La separación entre redes climatológicas principales será de *“media máxima de 500 km y entre las estaciones en altitud para fines climáticos deberá haber una separación media máxima de 1000 km”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011).

En la Propuesta de una red de monitoreo hidrológico para la cuenca Madre de Dios en Perú, ellos tratan de colocar estaciones uniformemente a lo largo de las diferentes altitudes y condiciones del clima, *“ya que se ha demostrado que tanto la lluvia como la escorrentía varían de manera inversa con la elevación”* (Forsberg, 2013) y además proponen *“que las nuevas estaciones se ubiquen cerca de comunidades y centros poblados con más de 50 habitantes, al menos que no existan otras poblaciones en la región”* (Forsberg, 2013).

Indicadores meteorológicos.

Entre los indicadores meteorológicos están:

- Precipitación

“Se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, neblina o nieve” (Monsalve Sáenz, 1999).

Para que se forme la precipitación se necesitan los siguientes elementos: *“humedad atmosférica, radiación solar, mecanismo del enfriamiento del aire, presencia de núcleos higroscópicos para que haya condensación, mecanismo de crecimiento de partículas”* (Monsalve Sáenz, 1999).

La precipitación se mide en milímetros (mm) y se registra a partir de pluviómetros o pluviógrafos. Un milímetro representa el grosor de la lámina de agua que ha dejado la precipitación.

- Temperatura

“La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos” (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011). Con este indicador se puede conocer el grado de calor o frío de los cuerpos.

En meteorología se utiliza la escala Celsius (°C) y sus *“dos puntos fijos son, el punto de fusión del hielo (0 °C) y el punto de ebullición normal del agua (100 °C)”*. (Castro Fonseca, 2008)

La temperatura *“indica la cantidad de energía calorífica que hay acumulada en el aire en un momento y lugar determinados”* (Castro Fonseca, 2008). Deriva de la radiación del sol que llega hasta el planeta.

- Humedad relativa

Se entiende por humedad relativa al vapor de agua que está en el aire, también llamada humedad ambiental. La OMM define como: *“la razón expresada en porcentaje, entre la presión de vapor observada y la tensión del vapor saturante a la misma temperatura y presión”* (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2011).

- Dirección y velocidad del viento

La intensidad del viento es una *“cantidad vectorial que tiene dirección y magnitud, se consideran dos componentes en un plano paralelo a la superficie de la Tierra, y la tercera*

perpendicular” (CEIUCA, 2017). Por esta razón el viento se considera un vector en dos dimensiones, despreciándose para estudios de meteorología el componente vertical.

“Las variaciones del viento están sujetas a variaciones tanto en período como en amplitud” (CEIUCA, 2017). Esto se da porque el viento no es laminar sino turbulento. *“La orografía de la Tierra es el principal factor que determina la estructura turbulenta del viento”* (CEIUCA, 2017).

- Presión atmosférica

“La presión atmosférica es la fuerza que ejerce por unidad de superficie como resultado del peso de la atmósfera por encima del punto de medición” (Castro Fonseca, 2008).

Según Castro Fonseca en el manual de procedimientos para las estaciones meteorológicas (2008), *“la unidad de medida de la presión atmosférica es el Pascal (Pa) que es equivalente a un Newton/m²”*.

- Punto del rocío

El punto de rocío *“es la temperatura a la se concentra el vapor de agua en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o escarcha”* (Laindustrisfutura, 2016).

- Radiación solar

Según el manual de procedimientos para las estaciones meteorológicas (2008), la radiación solar es *“la energía solar recibida por la tierra; una parte penetra la atmósfera mientras que otra es dispersada y/o absorbida por moléculas gaseosas, líquidas y aerosoles”*. Se dan dos tipos de radiación, *“difusa y directa, sumadas generan la radiación global”* (Castro Fonseca, 2008)

“La irradiancia calcula la radiación solar, la unidad de medida es el W/m²”. (Castro Fonseca, 2008)

Red de estaciones de aforo.

El caudal corresponde *“al volumen de agua que pasa instantáneamente por la sección de aforos en unidad de tiempo y se expresa en (m³/s) o (l/s)”* (IDEAM- MAVDT, 2007). Según el Protocolo de monitoreo hidrológico de Cali (2012), *“las mediciones de caudal están orientadas a conocer las características geométricas e hidráulicas del cauce en diferentes estados hidrológicos, asociados con las temporadas de lluvias”* (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012).

El caudal (Q) está en *“función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante la fórmula”* (IDEAM- MAVDT, 2007):

$$Q = A * V \text{ (1)}$$

Según el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua de Colombia (2007), existen diferentes formas de medir el caudal, a su vez este “*dependerá del tamaño del cauce, la magnitud del caudal, las características hidráulicas del flujo, la necesidad de contar con datos inmediatos o a corto plazo, la viabilidad de visitar los sitios de medición, dependiendo de las distancias y recursos logísticos*”, entre otros. De acuerdo al protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua de Colombia (2007), existen diferentes formas para medir caudales:

- Aforo de trazadores.
- Aforo volumétrico.
- Aforo por medición de área y velocidad.
- Estructuras aforadoras.

Aforo con trazador.

En zonas de “*gran turbulencia y remolinos se recomienda construir instalaciones para realizar aforos por trazadores. El desarrollo tecnológico permite realizar aforos químicos de manera automatizada*” (IDEAM- MAVDT, 2007), con este método se obviaría llevar equipos a la sección de medición y obteniendo adicionalmente al caudal y otras variables de importancia para el control hidrológico y el modelamiento de calidad del agua, como parte de la gestión de vertimientos en ríos, como la velocidad, el área de la sección, los coeficientes de Manning y Chezy y la longitud de mezcla.

Al existir corrientes con las anteriores características sumadas a otras tales como régimen torrencial, alta pendiente, poca profundidad, lechos inestables y líneas de flujo desordenadas en las secciones de aforo, hacen poco aplicable el método convencional (con molinete).

Para suplir estos inconvenientes se han utilizado los aforos con trazadores también llamados aforos químicos, que permiten conocer el caudal a partir de la variación de concentración de una sustancia que es inyectada en el cauce. El procedimiento consiste en inyectar un trazador en una sección de la corriente y realizar aguas abajo, a una distancia lo suficientemente lejos para que haya dilución total, mediciones de conductividad eléctrica para detectar el paso de la nube y así calcular el caudal. En todo este desarrollo no se requiere conocer el área de la sección de medición. (IDEAM- MAVDT, 2007)

Puede definirse como trazador a toda sustancia que incorporada a un proceso físico o químico permita estudiar su comportamiento y evolución.

La turbulencia permite la dilución total de una sustancia química usada como trazador, en un tramo de la corriente con una longitud determinada que se verifica antes de iniciar la inyección del trazador.

Según el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM- MAVDT (2007) los trazadores deben tener las siguientes particularidades:

“Las sustancias usadas como trazadoras deben tener ciertas características físicas, químicas y ambientales, establecidas como fruto de investigaciones”.

El trazador no debe alterar la composición ni las condiciones del agua *“como densidad, viscosidad y temperatura”*. Debe comportarse similarmente al sistema acuático, donde se van a desarrollar las mediciones.

Debe tener la propiedad de solubilidad en el recurso hídrico (con pequeñas dosis de trazador se pueda medir los fluidos) y no debe precipitarse.

Debe de medirse *“in situ”*, ser inofensivo con el ecosistema para no provocar posibles impactos de contaminación a futuro.

Particularmente el trazador debe ser económico, de precios accesibles.

Un *“trazador ideal”* puede cumplir con todos estos requerimientos por lo que se hace indispensable tener un conocimiento práctico de cada uno de estos, para utilizar el apropiado *“de acuerdo a la necesidad del estudio y a las características hidráulicas, morfológicas, físicas y químicas del cauce y el agua de la corriente”*. (IDEAM- MAVDT, 2007)

Tipos de trazadores.

- Cloruro de sodio o sal común (NaCl)

El procedimiento para usar el trazador es sencillo, *“se inyecta en la corriente el NaCl, y por el método de conductividad se detecta de forma “in situ”, se disuelve 600 gr/lit”* (IDEAM- MAVDT, 2007) .

- Dicromato de Sodio (NaCr₂)

“Se usa como trazador por su alta solubilidad, satisfaciendo los requerimientos y su análisis colorimétrico realizado en el laboratorio permite medir concentraciones pequeñas de dicromato”. (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012)

- Cloruro de Litio (LiCl_3)

“Se realiza un análisis fotométrico de la llama y esta puede manifestar concentraciones de litio de 0,001 gramos por litro”. (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012)

- Rodamina W

La concentración *“de la tinta se puede medir en la estación de aforos usando fluorímetros que puedan detectar concentraciones de 5 a 10 (ppm)”.* (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012)

Localización de las estaciones.

“La ubicación de las estaciones de monitoreo es probablemente el factor más crítico en el proceso de diseño de una red de muestreo” (Sanders, y otros, 1983), etapa que implica el estudio de diferentes dominios espaciales, los cuales han sido considerados hasta hoy a partir del trabajo presentado por (Sanders, Adrian, & Berger, Design a River Basin Sampling System, 1976). Estos investigadores dividieron el procedimiento de localización de estaciones en tres niveles:

- Macro localización. En esta suelen diferenciarse las metodologías de estudio por la manera como se asumen el dominio de diseño, pues unas desarrollan el proyecto del monitoreo sobre la red de drenaje a nivel de cuenca (o sistema de río), mientras que otras trabajan únicamente sobre el cauce principal o un tramo del mismo.
- Según Moreno Tovar, Toro Botero, & Carvajal (2008), la micro localización o definición en el tramo del sitio específico donde debe localizarse la estación, procurando la ubicación de la misma en la zona de mezcla completa dentro del tramo.
- *“Localización representativa del muestreo, esto es, dónde y cómo debe tomarse una muestra en la sección transversal de la corriente en la estación seleccionada”* (Moreno Tovar, Toro Botero, & Carvajal, 2008).

Los siguientes criterios se deben de tener en cuenta para definir los sitios de monitoreo.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2006), da los siguientes criterios para medir el caudal:

- La sección del río donde se va monitorear el caudal debe ser recto, que no haya variación en la red hídrica para lograr mediciones exactas.

- El flujo de agua debe estar aislado formando un solo cauce y no existir flujos subterráneos.
 - El perfil morfológico del río no debe tener flora acuática ni estar sometido a excavaciones.
 - La zona de monitoreo debe ser de fácil acceso para implantar los equipos.
 - El margen del río no debe cambiar, mantenerse en las crecidas y sin arbustos.
- “Para medir la variable nivel”* (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2006):
- Accesibilidad a la zona de estudio.
 - Propósito de las observaciones
 - Condiciones hidráulicas (calado, ancho y velocidad)

Metodología de monitoreo del Indicador de nivel del agua.

Se denomina “*nivel del agua en una corriente*” (río, quebrada, arroyo, caño) o en un cuerpo de agua (ciénaga, lago, laguna, embalse), “*a la elevación o altura de la superficie del agua en un punto determinado*”. (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2010)

Según la Organización Meteorológica Mundial, OMM (2010), la precisión con la que se debe medir el nivel debe ser de 1 cm, en estaciones de aforo que generan registros continuos la precisión debe ser de 3 cm. El sitio seleccionado debe ser accesible para realizar las mediciones del nivel del recurso hídrico. Un componente importante para la ubicación de los sitios son las condiciones hidráulicas, esencialmente en zonas donde se lleva registros de caudal.

Monitoreo de la calidad del agua.

Según la Autoridad Nacional del Ambiente en su informe de monitoreo de la calidad de Agua en las cuencas hidrográficas de Panamá (2009), establece los siguientes argumentos para implementar programas de monitoreo de calidad del agua: comprobar la calidad del recurso hídrico, verificando si cumple con los límites permisibles para el uso que sea requerido, teniendo en cuenta la afección que se causa por las actividades antrópicas. El “*monitoreo busca proveer información técnica y con respaldo científico, a los tomadores de decisiones, para que puedan ejecutar acciones necesarias para la conservación y recuperación*” de los ambientes naturales. (Autoridad Nacional del Ambiente, 2009)

Localización de las estaciones de monitoreo.

Para evaluar este componente se realiza la misma metodología que se propone para el componente hidrológico en cuanto a la localización de las estaciones de monitoreo.

Los siguientes criterios se deben tener en cuenta para definir los sitios de monitoreo

- Condiciones generales y problemas relativos al agua.
- Centros potenciales de desarrollo industrial y urbano.
- Tendencias de la población.
- Clima, geografía y geología.
- Asequibilidad.
- Mano de obra disponible, fondos, medios para el proceso de datos sobre el terreno y en laboratorio.
- Consideraciones inter-jurisdiccionales.
- Duración del transporte de muestras inestables hasta el laboratorio.
- Seguridad del personal.

Descripción de los sitios de muestreo

Se identifican diferentes sitios de posibles muestreos de calidad de agua, según el objetivo de monitoreo o acción del fondo implementada, se debe verificar las características de la zona para determinar los puntos de muestreo, se listan a continuación todos los posibles sitios con el propósito de no olvidar ninguna (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012)

- Fuente superficial en cercanía al nacimiento, acuífero o manantial.
- Lago, embalse.
- Fuente superficial aguas arriba de una ciudad
- Fuente superficial aguas debajo de una ciudad
- Fuente superficial aguas arriba de zonas industriales, mineras o agrícolas
- Fuente superficial aguas abajo de zonas industriales, mineras o agrícolas
- Sobre principales tributarios antes de la desembocadura a la fuente superficial
- Fuentes superficiales aguas arriba de la desembocadura al mar
- Vertimiento de zonas industriales

- Vertimiento de áreas mineras
- Vertimientos de áreas agrícolas

Variables por monitorear.

Guiándonos en un esquema jerárquico de variables de calidad de agua, expuesto por un grupo de investigadores (Sanders, y otros, 1983), consta de cuatro niveles para el seguimiento de distintos procesos en una corriente:

- 1) Variables básicas: el caudal, niveles del agua y volúmenes en pequeños cauces.
- 2) Variables de calidad: la temperatura, pH, turbiedad, DBO, OD, cationes, aniones y conductividad eléctrica.
- 3) Variables de calidad que producen efectos agregados, por ejemplo: “*variables que producen turbiedad como material suspendido, coloides, minerales disueltos, y otros*”. (Sanders, y otros, 1983)
- 4) Especies que producen efectos agregados: como minerales que afectan la turbiedad, incluye óxidos de hierro, compuestos de magnesio, aluminio, etc. Este nivel debe de cumplir con un estudio meticuloso de parámetros de calidad.

“Adquiriendo como base el uso determinado del agua y el nivel de control que se vaya a realizar a la fuente se plantea las variables de calidad a monitorear”. (Sanders, y otros, 1983)

Indicadores de calidad de agua:

- DBO

Demanda biológica de oxígeno: “*Indicador de la contaminación de un efluente expresada por el consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos que descomponen la materia orgánica*” presente en el cauce. “*Es la capacidad auto-depurativa del agua, concedida por los propios microorganismos*”. (CEPIS/OPS, 2004)

Según la CEPIS/OPS, (2004), el DBO se mide como la masa (mg) de oxígeno utilizado por un litro de muestra del efluente incubado a 20°C durante un periodo de cinco días. En la normativa de la Comunidad Europea (Directiva 78/659/CEE) se han establecido los límites en los valores de DBO que no deben ser superados en las aguas habitadas por diferentes clases de peces en función del oxígeno disuelto:

- Aguas habitadas por peces de la familia de los Salmónidos (muy exigentes en cuanto a la calidad del agua) se recomienda que la DBO no supere los 3 mg/l.

- Aguas habitadas por peces de la familia de los Ciprínidos, más tolerantes con respecto a la disponibilidad de oxígeno, no debe superarse el valor de 6 mg/l.

Los tipos de vertido donde se producen valores altos de DBO e inclusive producir anoxia, son: todo aquel que contribuya una gran cantidad de materia orgánica y fertilizantes químicos, como las aguas residuales urbanas, los residuos ganaderos, los efluentes de mataderos e industrias alimentarias, los residuos agrícolas, entre otros. Si el nivel de DBO es bajo, esto no quiere decir que la contaminación del recurso sea bajo, se puede considerar que la toxicidad afectó a los microorganismos depuradores.

- Oxígeno Disuelto OD

Un indicador de las condiciones en las que se encuentra un sistema natural acuático es el oxígeno.

Concentración de saturación de oxígeno: *“es la máxima concentración de oxígeno que puede tener el agua para una temperatura, altitud y salinidad determinadas. Factores influyentes en la concentración de saturación”*. (Canada State Water Resources, 2000)

- Sólidos Suspendidos SS

“La cantidad de sólidos contenida en el agua se relaciona directamente con la calidad, esto puede variar de acuerdo a la procedencia y al destino que se le vaya a dar” (Matovelle Bustos, 2014). Entonces los sólidos suspendidos nos indican la calidad del agua que una población consume.

Según Matovelle Bustos (2014), los sólidos suspendidos están formados por arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica y otros organismos; pero puede variar la concentración del mismo por cambios generados de actividades biológicas o por incidentes climáticos como la escorrentía, provocando aumenta los sólidos suspendidos en la red hídrica (Matovelle Bustos, 2014).

- Componentes del nitrógeno

Según CEPIS/OPS (2004), para las plantas y animales el nitrógeno es alimento sustancial para su desarrollo, siempre que estén en el sistema acuáticas. Además en este medio se halla formando amoniaco, nitratos y nitritos.

“Los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion” (CEPIS/OPS, 2004). Por esta razón los materiales nitrogenados se transforman en nitratos cuando están presentes en medios acuáticos y terrestres.

“Los nitritos (sales de ácido nitroso, HNO₂) son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, siendo muy inestable” (CEPIS/OPS, 2004), esto se genera por reducción bacteriana o por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno, el nitrito puede apreciarse en condiciones bajas de oxígeno.

Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente para dar nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos.

El descontrolado uso de fertilizantes con nitrógeno, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo que son movilizados con facilidad de los sedimentos por las aguas superficiales y subterráneas.

- Coliformes totales

Los coliformes totales nos indican la presencia de materia orgánica de origen fecal, ya sea de humanos o animales en un cuerpo de agua contaminado.

Coliformes fecales

Están conformados por bacterias que se alojan en el intestino de los animales de sangre caliente, incluidos los seres humanos. Entre las bacterias utilizadas para determinar los parámetros de calidad del agua esta *Escherichia coli*.

- pH

Según CEPIS/OPS (2004), *“el pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución”*.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, *“las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9”*. (CEPIS/OPS, 2004)

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.

“Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6,5 a 8,5 para el agua” potable. (CEPIS/OPS, 2004)

Caracterización morfométrica de la microcuenca.

Para la caracterización morfométrica de la microcuenca, se realiza un proceso de caracterización a través de mapeo y cartografía. En muchos casos, se utilizan herramientas tales como el SIG, el cual es un sistema que integra varias herramientas de *“diseño para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real”*, mapas, y ayuda además a analizar *“características espaciales y temáticas, para obtener un mejor conocimiento de la zona”* (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015).

Los pasos a seguir en la caracterización morfométrica son los siguientes: *“determinación del área, determinación de la longitud, forma de la subcuenca, elevación media, pendiente media, pendiente del río”* (Rodríguez, 2013).

Área

“Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica”. (Rodríguez, 2013)

Longitud de la corriente

“Se considera la longitud como la distancia del curso de agua más largo desde la desembocadura hasta el nacimiento, de una corriente de agua”. (IDEAM- MAVDT, 2007)

La longitud de la corriente y la superficie de la cuenca hacen que los caudales crezcan. (IDEAM- MAVDT, 2007)

Factor de Forma de Horton (K_f)

Según Naranjo Gaibor (2013), la forma de la cuenca se determina a partir de la fórmula del factor de forma K_f , donde se relaciona el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Elevación media (Hm)

Es el promedio de las alturas de una unidad hidrográfica, “a través de un análisis espacial y estadístico. Está estrechamente relacionada con las temperaturas medias, evapotranspiración, y con el relieve de la hoya hidrográfica”. (Naranjo Gaibor, 2013)

Pendiente media (Pm)

Esta particularidad vigila la “velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales”, constituyendo la red de drenaje. (Naranjo Gaibor, 2013)

Pendiente del Río

“Está íntimamente relacionado con la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua”. (Naranjo Gaibor, 2013)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para el diseño de la red de monitoreo se lleva a cabo en un área de 66, 85 km² respectivamente. El marco espacial del estudio fue la Microcuenca del río Tabacay, situada en la provincia del Cañar, Ecuador.

3.1. Salida de campo

Se realizaron algunas salidas de campo a la microcuenca del río Tabacay, actividades fundamentales para reconocer la zona de estudio y su sistema natural. Anexo A, B, C.

En la primera salida de campo nos reunimos con los representantes del departamento de Gestión Ambiental de la empresa EMAPAL EP en conjunto con nuestros tutores para realizar el reconocimiento de la zona en estudio.

En las siguientes salidas se localizaron y georreferenció las principales captaciones para el agua potable, lugares de monitoreo del recurso hídrico en cuanto a calidad y cantidad, se pidió información a la empresa de EMAPAL EP sobre estaciones climáticas, pluviómetros y sensores de nivel que se localicen dentro de la microcuenca. También contamos con información por parte del SENAGUA y SIGTierras, sobre estaciones climatológicas y usos del suelo.

3.2. Análisis de datos

Los técnicos de la dirección de Gestión Ambiental de EMAPAL EP, cuentan con cinco puntos preestablecidos para la obtención de muestras de agua en la microcuenca, (Tabla 3), estos se ubican cerca de las captaciones. Los datos de la red de monitoreo de calidad y caudales se han generado mensualmente desde el mes de octubre del año 2009 hasta

el año 2016, el resultado es caudales pequeños que contienen vertidos directos de aguas residuales domésticas y agrícolas que recogen escorrentía de tierras dedicadas a la agricultura y ganadería (Anexo D), alimentando a las quebradas principales, teniendo una carga de contaminación considerable, además no existen otros puntos de monitoreo en la red de calidad del agua en el río, por lo que se desconoce la calidad del recurso hídrico en la parte alta de la microcuenca.

Percepción de la población ante la contaminación del agua del río Tabacay.

Es muy importante considerar el componente social porque este nos ayuda a cuantificar la percepción que tiene la población sobre la contaminación y las causas que la producen. Según el Plan de Manejo, el 71% de la población tiene conocimiento sobre la contaminación que se genera en la microcuenca. Se pone en consideración la ubicación de la población encuestada, porque la contaminación en la parte alta no va a ser igual en la parte baja, en las zonas bajas de la microcuenca la contaminación es evidente llegando a un grado de degradación considerable por las excesivas actividades antropogénicas, mientras que en la parte alta la contaminación es difícil apreciar.

Los pobladores tienen claras las causas de contaminación, a continuación se enumeran según su percepción y prioridad. (Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS , 2003)

- 1) Vertidos directos de aguas residuales por falta de sistemas de alcantarillado.
- 2) Falta de plantas de tratamiento para las zonas donde existe alcantarillado.
- 3) Contaminación por los asentamientos cercanos de ganadería vacuna.
- 4) Agricultura.
- 5) Otros tipos de contaminación (fábricas de quesos, acopios de leche, granjas porcinas).

Según el Plan de Manejo la población tiene una percepción clara de los problemas de contaminación presentes en la microcuenca, este es un resultado muy importante porque nos facilita llegar a consensos entre población e instituciones.

Dentro de la microcuenca del río Tabacay se localizan tres Pluviógrafos que miden la precipitación, situados en el GAD parroquial de Guapán, en la captación de Condoryacu y Llaucay, *Tabla 3*. Existe una sola estación climatológica llamada Nudpud en la zona Voluntad de Dios, y mide los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros climatológicos de la estación Nudpud.

Parámetros	Unidad de medida
Precipitación	mm
Temperatura	°C
Radiación solar	W/m ²
Punto de rocío	°C
Velocidad del viento	m/s
Presión atmosférica	mm Hg
Humedad relativa	%

Fuente: EMAPAL EP.

Se accedió a datos de precipitación de las estaciones Nudpud, Condoryacu, Llaucay y Rubíes, recolectados por EMAPAL, pero lamentablemente existen datos incompletos. Para esta deficiencia de datos utilizamos el software llamado Trasero versión 1.0, del departamento Ciclo Hídrico del municipio de Alicante, este programa nos ayudó a generar los datos faltantes a partir de estaciones similares en altitud y cercanas a la microcuenca, las estaciones fueron Surampalti, Queseras y San Cristóbal, para delinear la variabilidad espacial de las precipitaciones.

Tabla 2. Puntos de muestreo de calidad y caudales, empresa EMAPAL EP.

NOMBRE	COORDENADAS		ALTURA (m. s. n. m)
	X	Y	
Nudpud	743692	9704152	2890
Rosario	742423	9705864	3060
Mapayacu	741415	9704041	2948
Condoryacu	741346	9705295	2983
Llaucay	743626	9702528	2880

Fuente: (EMAPAL EP, 2017).

Tabla 3. Estaciones con las que cuenta EMAPAL EP en la microcuenca.

NOMBRE	COORDENADAS		ALTURA (m. s. n. m)	DETALLE	UBICACIÓN
	X	Y			
Nudpud	746459	9705417	3230	Climatológica	Voluntad de Dios
Rubíes	741161	9703086	2769	Sensor de nivel	Quebrada Rubíes
Guapán	739279	9699879	2626	Pluviógrafo	GAD parroquial de Guapán
Condoryacu	741649	9704709	2899	Pluviógrafo	Captación de Condoryacu
Llaucay	744400	9702114	2980	Pluviógrafo	Llaucay

Fuente: (EMAPAL EP, 2017).

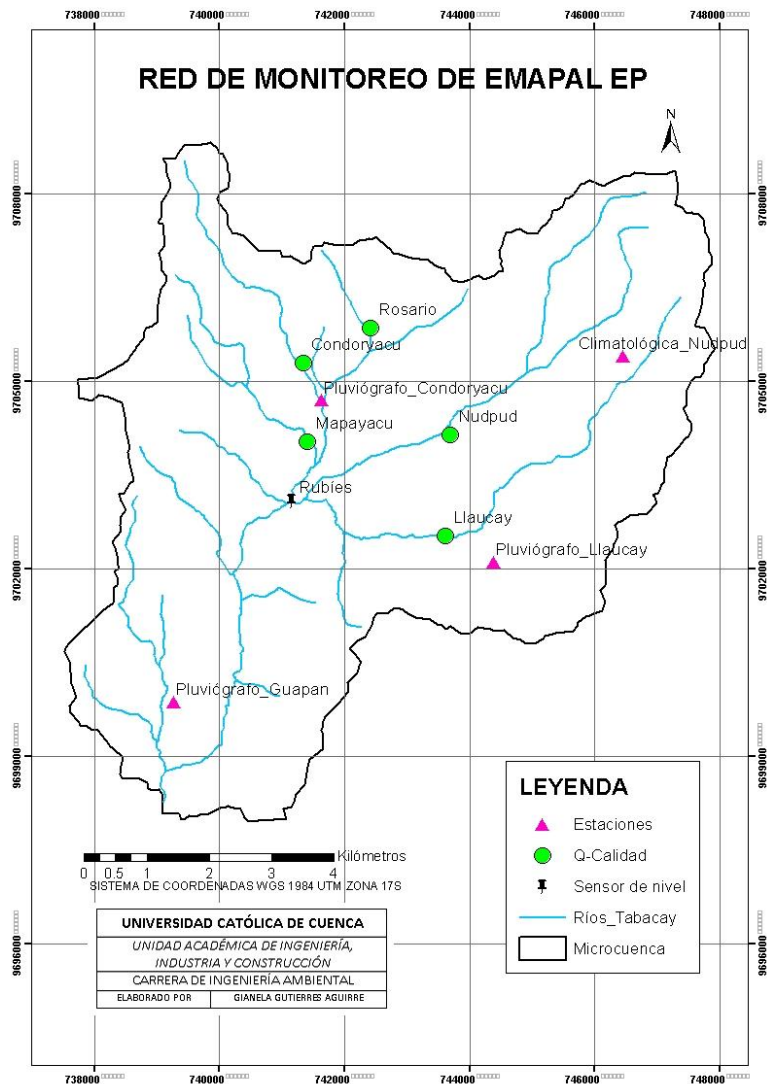


Figura 2. Puntos de muestreo de calidad y caudales / estaciones de monitoreo del clima - EMAPAL EP.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Delimitación de la zona de estudio

La delimitación de la zona de estudio se hace a partir de un DEM y la red hidrográfica, información que se geo-procesa para obtener una delimitación automática de la zona de la microcuenca mediante el empleo de herramientas SIG en ArcGIS, con esto garantizamos una mayor calidad y precisión en los resultados.

Generación de información cartográfica.

La generación de información cartográfica de la microcuenca del río Tabacay nos ayuda a determinar parámetros para la propuesta de diseño de la red de monitoreo.

Primero usamos un DEM de la zona de estudio, a partir del cual se generan datos de la dirección y acumulación de flujo de agua, obteniendo la red de drenaje y ésta a la vez nos sirve para definir las zonas de aporte hídrico. Este proceso de generación de información se lo realiza a través del software ArcGIS 10.2, desde las herramientas contenidas en el ArcToolBox en la sección Hydrology, necesaria para la delimitación de las unidades hidrológicas y parámetros morfométricos en la microcuenca.

Parámetros morfométricos.

Tabla 4. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Tabacay.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY		
DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
DE LA SUPERFICIE		
Área	km ²	66,85
Perímetro de la Cuenca	km	44,58
COTAS		
Cota máxima	m.s.n.m.	3760
Cota mínima	m.s.n.m.	2520
CENTROIDE (WGS 1984 UTM Zona 17S)		
X centroide	m	742528,18
Y centroide	m	9703515,18
Z centroide	m.s.n.m.	3188,26
ALTITUD		
Altitud media	m.s.n.m.	3188,26
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	3088,33
Altitud de frecuencia media (1/2)	m.s.n.m.	3154,08
PENDIENTE		
Pendiente promedio de la cuenca	%	24,41
RED HÍDRICA		
Longitud del curso principal	km	15,21
Orden de la Red Hídrica	UND	4
Longitud de la Red Hídrica	km	192
Pendiente promedio de la Red Hídrica	%	1,46
Tiempo de concentración	horas	1,41
Pendiente del cauce principal	m/km	81,52

Fuente: elaboración propia.

3.4. Diseño de las redes de monitoreo

Generación de la red de estaciones meteorológicas.

Al establecer las redes de monitoreo meteorológicas, se tendrá un estudio permanente de temperatura, precipitación, humedad del aire, punto del rocío, velocidad y dirección del viento de toda la microcuenca del río Tabacay (Tragsatec, 2013).

Al generar el mapa de las estaciones meteorológicas, este debe contener información sobre la ubicación de los equipos de monitoreo, ubicación de la microcuenca en coordenadas UTM-WGS84 referenciales, y una leyenda adecuada.

Para el establecimiento de los puntos de monitoreo el primer paso a seguir es: guardar los datos en un archivo EXCEL en el cual se ingresó los nombres de las estaciones meteorológicas cercanas o que estén dentro de la zona de estudio, coordenadas en X y Y, datos de precipitación media de los últimos cuatro años, digitalizamos en el programa ArcGis 10. 2. Utilizando la herramienta File/Add-data, seleccionamos el archivo creado y aplicamos la opción Display XY, el sistema de coordenadas debe estar proyectado en WGS84 17S, se ha generado un shape de las estaciones.

Como segundo paso se genera un mapa de isoyetas, son iso-líneas que representan lugares donde se tiene una misma precipitación. Se toma la metodología usada por Andreas Fries en "Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization" (Córdova, y otros, 2016) para generar un mapa de isoyetas o mapa de precipitación, tomando en consideración el gradiente altitudinal, para lo cual se requiere un DEM, y datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de una determinada área de estudio y así apreciar las variaciones topográficas locales.

Ya con el mapa de precipitación según el gradiente altitudinal, se tiene las zonas donde se dan mayores precipitaciones y así considerar los puntos para la propuesta de monitoreo (*Figura 3*). Las estaciones climatológicas para fines hidrológicos deberían estar situadas de acuerdo con las indicaciones que figuran en el Manual del Sistema Mundial de Observación (OMM-Nº 544), Parte III del Volumen I.

Con los puntos ya propuestos de las estaciones meteorológicas se procede a generar los polígonos de Thiessen. Para aplicar los polígonos de Thiessen se requiere el conocimiento de la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la microcuenca, identificando el área de influencia de cada estación. Luego se forman triángulos entre estaciones, uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre ellos y en lo posible sean equiláteros. A partir de allí se trazan líneas bisectoras

perpendiculares a todos los lados de los triángulos, al unirse en un punto igual dentro de cada triángulo conforma una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación. Esta es la mejor forma de medir el área de influencia de las estaciones sobre la microcuenca.

Los criterios para la ubicación de las estaciones, es que deberán estar situadas en una parcela de terreno plano cubierto de césped corto; el emplazamiento deberá estar suficientemente alejado de árboles, edificios, paredes y pendientes empinadas y no deberá estar en una hondonada, también otro dato importante es que se ubique cerca de centros poblados y la frecuencia de registro de datos deberá ser horaria.

Generación de la red de estaciones de aforo.

Con la red de estaciones de aforo se tendrá un estudio permanente del caudal y la lámina de agua en la microcuenca para futuros estudios hidrológicos.

Según Leopold y Maddock (1953), para poder estimar el caudal se debe realizar en campo, una serie de mediciones de factores como el ancho del flujo en el canal, el calado del flujo de agua y la velocidad de flujo, por lo tanto se propone la medición de caudales ocupando sensores de nivel y el método del aforo químico ubicando los puntos de muestreo en zonas con secciones conocidas de ancho, calado y velocidad del flujo.

El mapa de estaciones de aforo, debe contener información sobre la ubicación de los equipos de monitoreo, ubicación de la microcuenca en coordenadas UTM-WGS84 referenciales, y una leyenda adecuada.

El primer paso para establecer los puntos de monitoreo es: ingresar en el software ArcGIS los shapes de contorno y quebradas principales de la microcuenca, guardar la ubicación de las captaciones en un archivo EXCEL. Luego utilizando la herramienta File/Add-data generaremos un shape de las captaciones, seleccionamos el archivo creado y aplicamos la opción Display XY, el sistema de coordenadas debe estar proyectado en WGS84 17S.

Con el mapa ya generado de la microcuenca establecemos los puntos de monitoreo de aforo. Las captaciones son puntos claves para implantar las estaciones porque es un lugar conocido y de fácil acceso, además siguiendo con la metodología de Leopold y Maddock para determinar el caudal se debe conocer el ancho, el calado y la velocidad de flujo.

Para medir el caudal de corrientes con características régimen torrencial, alta pendiente, poca profundidad, lechos inestables y líneas de flujo desordenadas, el método convencional (con molinete) es poco aplicable. Por estos inconvenientes en la

zona de estudio se han utilizado los aforos con trazadores también llamados aforos químicos, que permiten conocer el caudal a partir de la variación de concentración de una sustancia que es introducida en el cauce. Este método sirve para todo tipo de lecho fluvial, con caudales muy bajos (pocos litros) hasta caudales muy grandes (100 m³/s con trazador).

En nuestro caso vamos a administrar cloruro de sodio o sal común (NaCl), es el elemento trazador más económico. El proceso para usar el trazador es relativamente sencillo, se inyecta en la corriente el cloruro de sodio, y se detecta la conductividad, el grado de disolución es de 600 g/lit.

El sistema está constituido “*por un sensor de conductividad eléctrica, una interfase electrónica, una computadora de mano (PDA) y un software para procesamiento, análisis, almacenamiento y consulta de información*” (IDEAM- MAVDT, 2007).

Según el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua del IDEAM (2007), el procedimiento es el siguiente:

- Seleccionar un tramo del cauce, accesible para inyectar el trazador y aguas abajo medirlo.
- Medir la conductividad de la corriente antes de inyectar el trazador, para detectar la presencia (concentración) natural del trazador en el agua.
- Preparar una solución del trazador con concentración conocida.
- Instalar el equipo (sonda, interfase y PDA) en la sección dos, para medir el paso de la nube del trazador.
- Verter la solución con el trazador en la sección uno y al mismo tiempo, marcar en la gráfica de la pantalla de la PDA una señal (triángulo).
- Iniciar la medición. En la pantalla de la PDA se va observando instantáneamente el paso de la nube con, inicialmente, aumento de la concentración hasta llegar a un punto máximo en un tiempo X; posteriormente se observa el descenso formando una onda que en la parte final del paso de la nube se vuelve constante manteniendo el valor de la concentración detectada en la corriente antes del vertimiento.
- Una vez ha pasado la nube se cierra la aplicación y se puede allí mismo ejecutar las rutinas de cálculo, con base en los datos que el software extrae de la curva experimental.

En este caso estaremos usando sensores de nivel para medir los cambios en la lámina de agua. Estos equipos se ubicarán en cada una de las captaciones de agua y en la parte baja de la microcuenca, con estos equipos instalados tendremos un monitoreo permanente de la lámina de agua que pasa por una sección conocida.

La medición de caudal (aforo) se debe realizar periódicamente, buscando cubrir una gran variedad de niveles (calado), con el objetivo de conseguir parejas nivel - caudal que permitan la calibración de la sección de aforos, la cual se plasma en la curva de gastos o de calibración. Esta curva transformada en una expresión matemática (ecuación) o en una tabla obtenida por lectura de puntos sobre la curva y posterior interpolación, permite la conversión de niveles horarios en caudales horarios.

Con el fin de obtener mediciones confiables que faciliten la calibración total de la sección de aforos, garantizando una buena definición y permanencia de la curva de calibración (relación nivel - caudal) y que a su vez se tengan facilidades logísticas para el desplazamiento de las comisiones con los equipos de hidrometría, la sección transversal debe cumplir los siguientes requerimientos técnicos y logísticos (THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA, 2012):

La sección debe estar situada en un tramo recto de la corriente.

La corriente debe mostrar líneas de flujo uniformes y paralelas a las márgenes de la corriente e igualmente que sean normales a la sección transversal de aforos, de tal manera que la medición de la velocidad sea precisa para la obtención del caudal.

La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la calibración de caudales máximos.

La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme.

El lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable.

La variación temporal de los caudales depende del régimen hidrológico y de la actividad humana (en este caso por la canalización para consumo de poblaciones y agricultura).

Generación de la red de calidad de agua.

El monitoreo y el seguimiento a la calidad del agua es fundamental en la toma de decisiones para la gestión del recurso hídrico, por esta razón es esencial que exista una red de monitoreo de la calidad de agua, que permanentemente se amplíe en dirección al monitoreo y seguimiento ambiental de las principales quebradas afluentes al río.

Para generar el mapa de estaciones de calidad de agua, debemos contar con información sobre los posibles focos de contaminación, ubicación de la microcuenca en coordenadas UTM-WGS84 referenciales, y una leyenda adecuada.

Para la ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del recurso hídrico el primer paso a seguir es: a partir de la información adquirida del inventario de las actividades antrópicas generar un shape de los posibles focos de contaminación difusa que se generan en la microcuenca en base al uso del suelo, donde se considera el área de cultivo anual (4,06 km²), pastizales (39,25 km²) y el mosaico agropecuario (1,04 km²). Teniendo el mapa con la información proseguimos a establecer los puntos de monitoreo de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Autoridad Nacional del Ambiente, 2009) Perú, tomando las siguientes consideraciones:

Colocar en la parte alta de la microcuenca en las nacientes de los ríos, llamados puntos de referencia o “blancos”, para tener el parámetro inicial de la calidad del agua.

En la parte media de la microcuenca, por la incidencia de las actividades antropogénicas.

Ubicar una estación en la parte baja de la microcuenca, para determinar el grado de contaminación final, donde resume la polución de las actividades antropogénicas.

La ubicación de las estaciones se guardan en un archivo EXCEL en el cual se ingresó el código de cada estación de monitoreo de calidad del agua de acuerdo a la quebrada, digitalizamos en el programa ArcGis 10. 2. Utilizando la herramienta File/Add-data, seleccionamos el archivo creado y aplicamos la opción Display XY, el sistema de coordenadas debe estar proyectado en WGS84 17S, como resultado se genera un shape de las estaciones con las coordenadas en X, Y.

Se propone trece estaciones de calidad del recurso hídrico a lo largo de la red hidrológica de la microcuenca; en la parte alta de la microcuenca donde nacen los afluentes, se pusieron tres estaciones llamadas blancos, en esta zona se supone que no hay contaminación, estos datos nos dan a conocer la calidad de agua de las nacientes que serán comparados con las estaciones aguas abajo para cuestionar la calidad del recurso hídrico; en la parte media de la microcuenca se situaron seis estaciones para medir la influencia de cambios de usos del suelo por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, los puntos están distribuidos en las captaciones, ya que de ahí se recepta el agua para el consumo de la población de Azogues. En la parte baja de la microcuenca se ubica una estación de calidad, lugar donde se resume la contaminación de las actividades antropogénicas, por lo tanto es un

punto importante donde estaremos monitoreando, controlando y verificando la calidad de agua que se deposita en la subcuenca del río Burgay. *Figura 8.*

En las estaciones de monitoreo del recurso hídrico estaremos midiendo los siguientes parámetros de control de calidad, se aplicarán en cada estación de monitoreo del recurso hídrico a lo largo de la microcuenca, obteniendo un control permanente de la calidad del agua:

DQO, DBO5, sólidos suspendidos, componentes del nitrógeno, fosfatos, fósforo total, coliformes totales, coliformes fecales, temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad son parámetros que permiten identificar la calidad del recurso hídrico que se destinada para el consumo humano.

4. RESULTADOS

El diseño de las redes de monitoreo del recurso hídrico en toda la microcuenca del río Tabacay es para tener un conocimiento completo de las aportaciones de la microcuenca, realizar modelación hidrológica con resultados eficientes y analizar el reparto del recurso hídrico evitando los fallos en la dotación, con una garantía elevada, a partir de datos hidrológicos y de calidad, representativos para la zona de estudio. La propuesta es muy importante y necesaria para obtener los objetivos planteados de nuestro sistema de monitoreo.

Es necesario ampliar la red de monitoreo de aforo, meteorológico y de calidad para conocer a detalle la hidrología en la microcuenca. La estación de Nudpud es un punto importante porque la información que genera sirve como línea base para estudios, mismos que se reforzarán con las nuevas propuestas de monitoreo.

4.1. Red de estaciones meteorológicas

Si empezamos ampliando el sistema de monitoreo meteorológico estaremos cubriendo toda la zona de estudio para conocer la dinámica del clima. Se ha analizado información de precipitaciones de estaciones ya existentes, un período de cuatro años desde el 2013 hasta el 2016, de las que se obtuvo la precipitación media de los cuatro años, también se analizó las elevaciones de la microcuenca a partir del DEM. Generamos el mapa de isoyetas, estas son iso-líneas que representan lugares donde se tiene una misma precipitación, considerando el gradiente altitudinal se determinó la ubicación de las estaciones meteorológicas a partir de las áreas donde hay cambios de precipitación que va desde los 706,41 mm hasta los 1067,15 mm, representada por colores (*Figura 3*), esto entre de un rango de 2520 y 3760 m. s. n. m. Con esto se

determina que se deben instalar seis estaciones cubriendo un área de influencia de 57,30 km² que corresponde al 85,71 % de la microcuenca, a partir de los polígonos de Thiessen (Figura 4).

A consideración del autor se ubicarán:

Tabla 5. Estaciones meteorológicas y objetivos.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA (M)	OBJETIVO
M_1CL/M_2CL/M_4CL (la zona alta de la microcuenca no se encontraba monitoreada) M_5CL/M_6CL M_3CL	Al establecer estaciones obtendremos información del ciclo hídrico, sus parámetros meteorológicos en diferentes períodos de tiempo de forma permanente, para realizar modelación hidrológica y analizar el reparto del recurso.

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones han sido colocadas en lugares estratégicos de la microcuenca, abarcando una mayor área de estudio, por lo tanto se generan datos permanentes en diferentes periodos climatológicos del año. Al emplazar las estaciones debemos tomar en cuenta que las barreras topográficas no interfieran en las mediciones, para desarrollar estudios sobre balance hídrico.

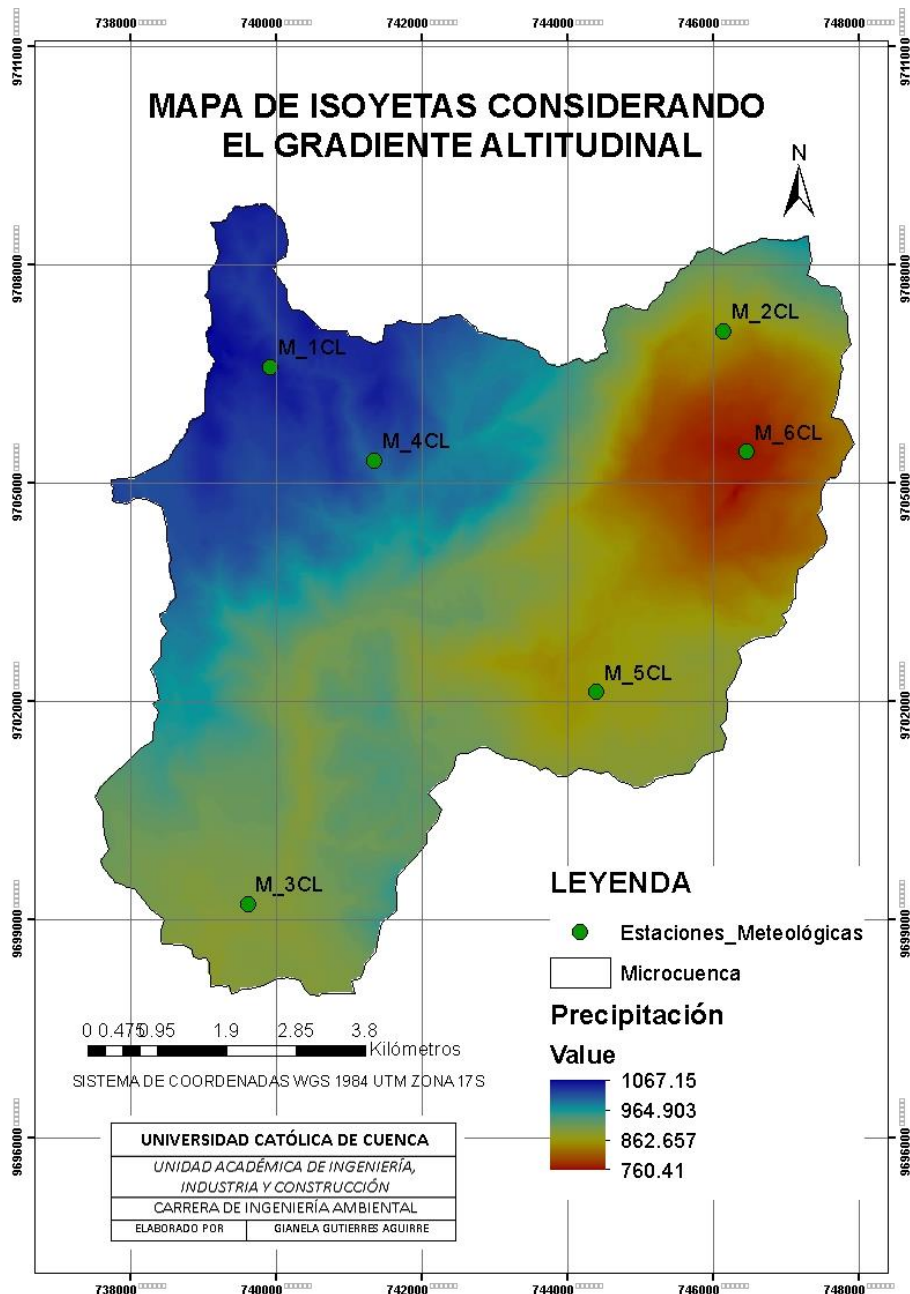


Figura 3. Isoyetas considerando el gradiente altitudinal - Red de Estaciones Meteorológicas.

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de precipitación. Se puede observar las isoyetas que constituyen zonas donde hay una misma precipitación. Se toma la metodología usada por Andreas Fries en “Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization” para generar un mapa de isoyetas, considerando el gradiente altitudinal, para lo cual se requiere un DEM, y datos de precipitación de estaciones meteorológicas del área de estudio y así apreciar las variaciones meteorológicas locales.

Tabla 6. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la microcuenca.

Estación Meteorológica N°	Código	Coordenadas UTM - WGS 84		Altura (m.s.n.m)	Quebrada (Q) / Río
		X	Y		
1	M_1CL	739917	9706585	3554	Q. Condoryacu
2	M_2CL	746144	9707068	3440	Parte alta de la Q. Nudpud
3	M_3CL	739614	9699210	2560	Q. Guapán
4	M_4CL	741346	9705295	3000	Parte alta de la Q. Rosario
5	M_5CL	744400	9702114	3000	Q. Llaucay
6	M_6CL	746459	9705417	3232	Q. Nudpud

Fuente: Elaboración propia.

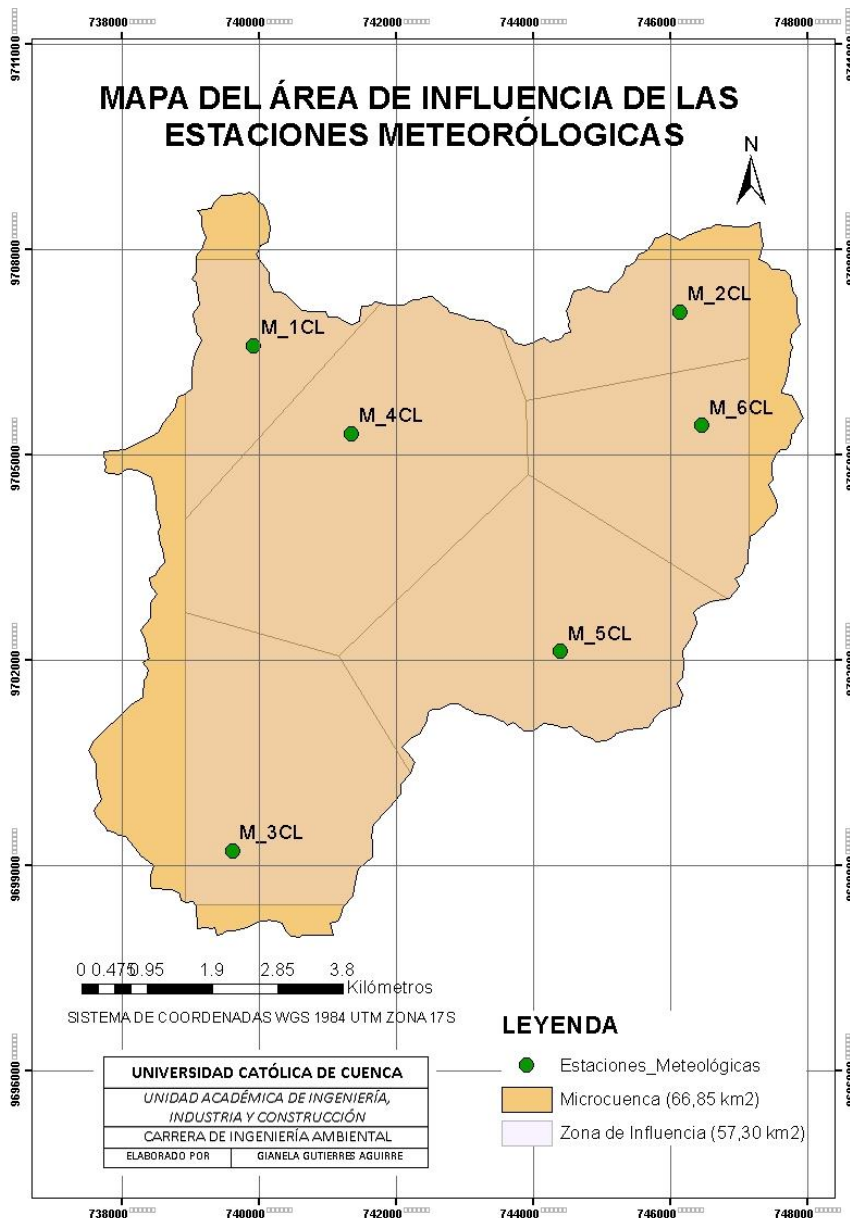


Figura 4. Área de influencia de las estaciones meteorológicas.

Fuente: Elaboración propia.

Los polígonos de Thiessen se crean al unir los puntos entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control, de manera que el perímetro de los polígonos generados sea equidistante a los puntos vecinos y designando su área de influencia. Con los polígonos de Thiessen determinamos el área de influencia de las estaciones meteorológicas en la microcuenca, con esto comprobamos que el estudio climatológico abarca en gran parte la microcuenca.

El aforo químico consiste en agregar a la corriente un químico (cloruro de sodio NaCl) que altere la conductividad del cuerpo de agua misma que será medida en tiempos constantes.

Al momento de obtener registros de mediciones de caudales y la altura de la superficie del agua podemos sacar una linealidad. La linealidad se determina obteniendo la mayor cantidad de datos de caudal y la lámina de agua durante un periodo de tiempo, estos van a estar dispersos (Figura 5) pero tienen que seguir una tendencia, para obtener una estimación instantánea del caudal fluvial (Figura 6). A mayor caudal mayor lámina de agua se va a representar. Este gráfico se conoce como la relación nivel-caudal o curva de gastos.

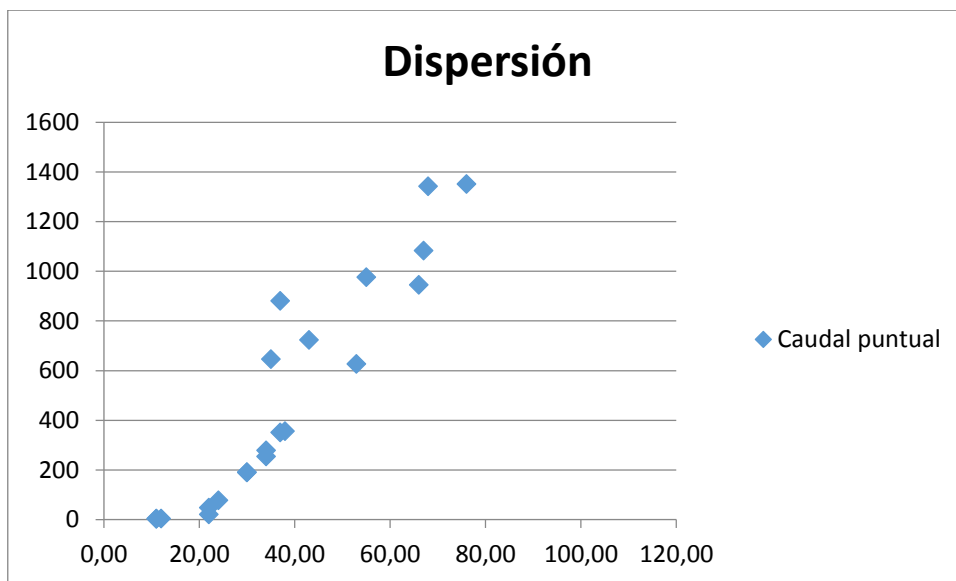


Figura 5. Datos de caudal registrados.

Fuente: Elaboración propia.

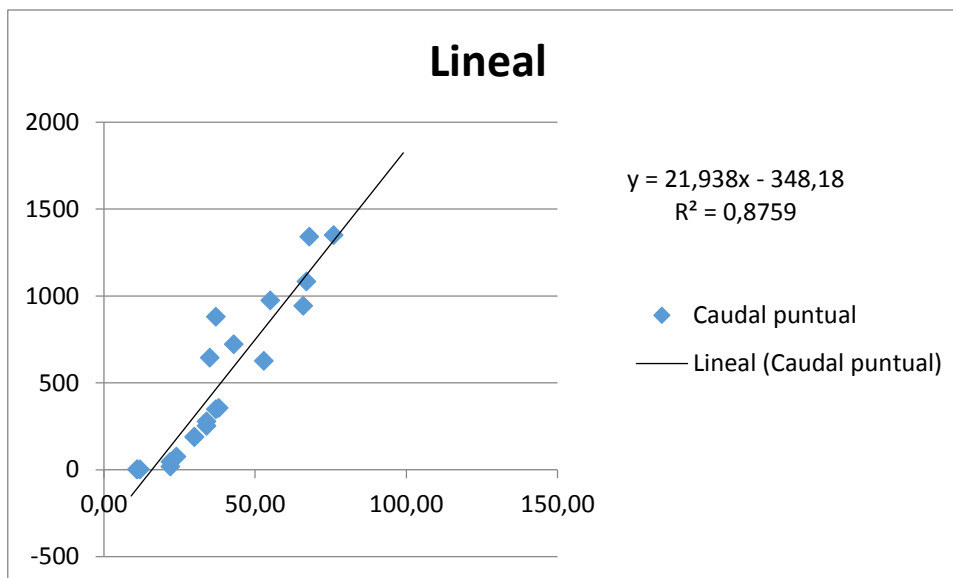


Figura 6. Linealidad del caudal.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando este método los técnicos pueden predecir el caudal, porque existen registros horarios de los caudales a diferentes alturas de lámina de agua, y así tener estudios hidrológicos precisos de la microcuenca.

Para el monitoreo de la red de aforo se deben instalar siete estaciones, cada una de ellas con objetivos significativos (Tabla 8). El caudal se medirá 10 m antes de las estaciones donde se ubicarán los sensores de nivel.

Tabla 8. Estaciones de aforo y objetivos.

ESTACIÓN DE AFORO (A)	OBJETIVO
A_CAP_Llaucay	Tener mediciones horarias de caudal.
A_CAP_Nudpud	Ubicar las estaciones en las captaciones porque son lugares conocidos y de fácil acceso para medir parámetros físicos.
A_CAP_Rosario	
A_CAP_Condoryacu	
A_CAP_Mapayacu	Tiene tramos delimitados, se conoce las características del curso hídrico.
A_RIO_TAB	Optimizar recursos en temas de logística.
A_SALIDA_RIO_TAB	

Fuente: Elaboración propia.

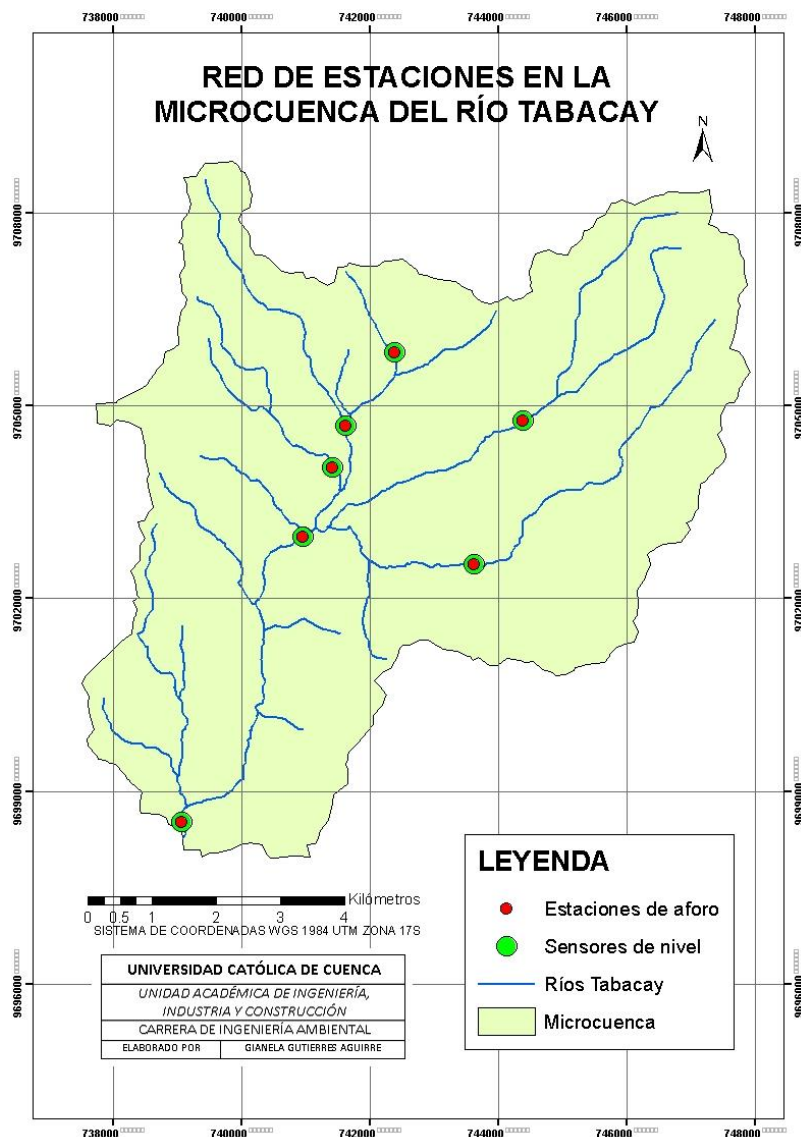


Figura 7. Red de estaciones hidrológicas en la microcuenca del río Tabacay.

Fuente: Elaboración propia.

En el mapa se aprecia la ubicación de la red de estaciones de aforo en la microcuenca, mismo que están situados en las captaciones, porque son tramos conocidos y de fácil acceso para medir el caudal, según Leopold y Maddock (1953) (velocidad, calado y ancho del flujo).

Tabla 9. Ubicación de las estaciones de aforo en la microcuenca.

Estación de aforo N°	Código	Coordenadas UTM WGS 84		Altura (m.s.n.m)	Quebrada (Q) / Río
		X	Y		
1	A_CAP_Llaucay	743627	9702529	2880	Q.Llaucay
2	A_CAP_Nudpud	744393	9704773	2987	Q. Nudpud
3	A_CAP_Rosario	742387	9705844	3043	Rosario
4	A_CAP_Condoryacu	741620	9704687	2920	Q. Condoryacu
5	A_CAP_Mapayacu	741415	9704041	2880	Q. Mapayacu
6	A_RIO_TAB	740964	9702961	2760	R. Tabacay
7	A_SALIDA_RIO_TAB	739063	9698512	2520	R. Tabacay

Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones de aforo determinan el caudal midiendo la elevación de la superficie del agua en el canal. Ésta se compara entonces con una tabla o gráfico conocido como la relación nivel-caudal o curva de gastos.

4.3. Red de estaciones de calidad de agua

En el monitoreo de la calidad del recurso hídrico se deben instalar trece estaciones, cada una de ellas con un objetivo muy importante de monitorear y dar seguimiento a la calidad del agua para una excelente gestión del recurso hídrico (Tabla 10). La ubicación de las estaciones dependen de los posibles focos de contaminación difusa que se generan en la microcuenca en base al uso del suelo, donde se considera el área de cultivo anual (4,06 km²), pastizales (39,25 km²) y el mosaico agropecuario (1,04 km²), información obtenida del inventario de las actividades antrópicas de la microcuenca del río Tabacay. Se considera contaminación difusa cuando los contaminantes llegan de manera indirecta o dependen de otro medio como la escorrentía superficial o subterránea al cuerpo de agua. De acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales basado en la EPA, en cuerpos de agua lótico los puntos de control se ubican a una distancia de 50 m aguas arriba del vertimiento y un punto aguas abajo a 200 m del vertimiento, fuera de la zona de mezcla porque es el lugar donde se estabiliza y se sabe exactamente cuál es el criterio de calidad del agua. Con este análisis se cubre un área de 44,35 km² de la microcuenca (Figura 8).

Tabla 10. Estaciones de calidad y objetivo.

ESTACIÓN DE CALIDAD (C)	OBJETIVO
C_1B/C_2B/ C_3B/C_4B C_5B/C_6B	Seis puntos de monitoreo se colocan en la parte alta de la microcuenca en las nacientes de los ríos, llamados puntos de referencia o “blancos”, para tener el parámetro inicial de la calidad del agua. Datos que serán comparados con las estaciones aguas abajo para cuestionar la calidad del recurso hídrico.
C_CAP_Rosario/ C_CAP_Condoryacu/ C_CAP_Nudpud/ C_CAP_Llaucay/ C_CAP_Mapayacu	Estos puntos son importantes porque monitorean el agua que capta la empresa para el consumo de la población. Por lo tanto se mide la influencia de cambios de usos del suelo de actividades antrópicas como ganadería, agricultura y otros.
C_RIO_TAB	Se ubica a 200 m de la confluencia de las quebradas que forman el río principal del Tabacay. Corresponde a la zona de mezcla, donde los posibles focos de contaminación difusa de las quebradas aguas arriba se unen.
C_S_RIO_TAB	Se ubica un punto de calidad en la parte baja de la microcuenca, para determinar el grado de contaminación final, donde resume la polución de las actividades antropogénicas. En conclusión es un punto importante donde estaremos controlando la calidad de agua que se aporta a la subcuenca del río Burgay.

Fuente: Elaboración propia.

La red ha sido propuesta en sitios necesarios de monitoreo, donde la topografía no obstruye las mediciones, consiguiendo un monitoreo integral de la microcuenca.

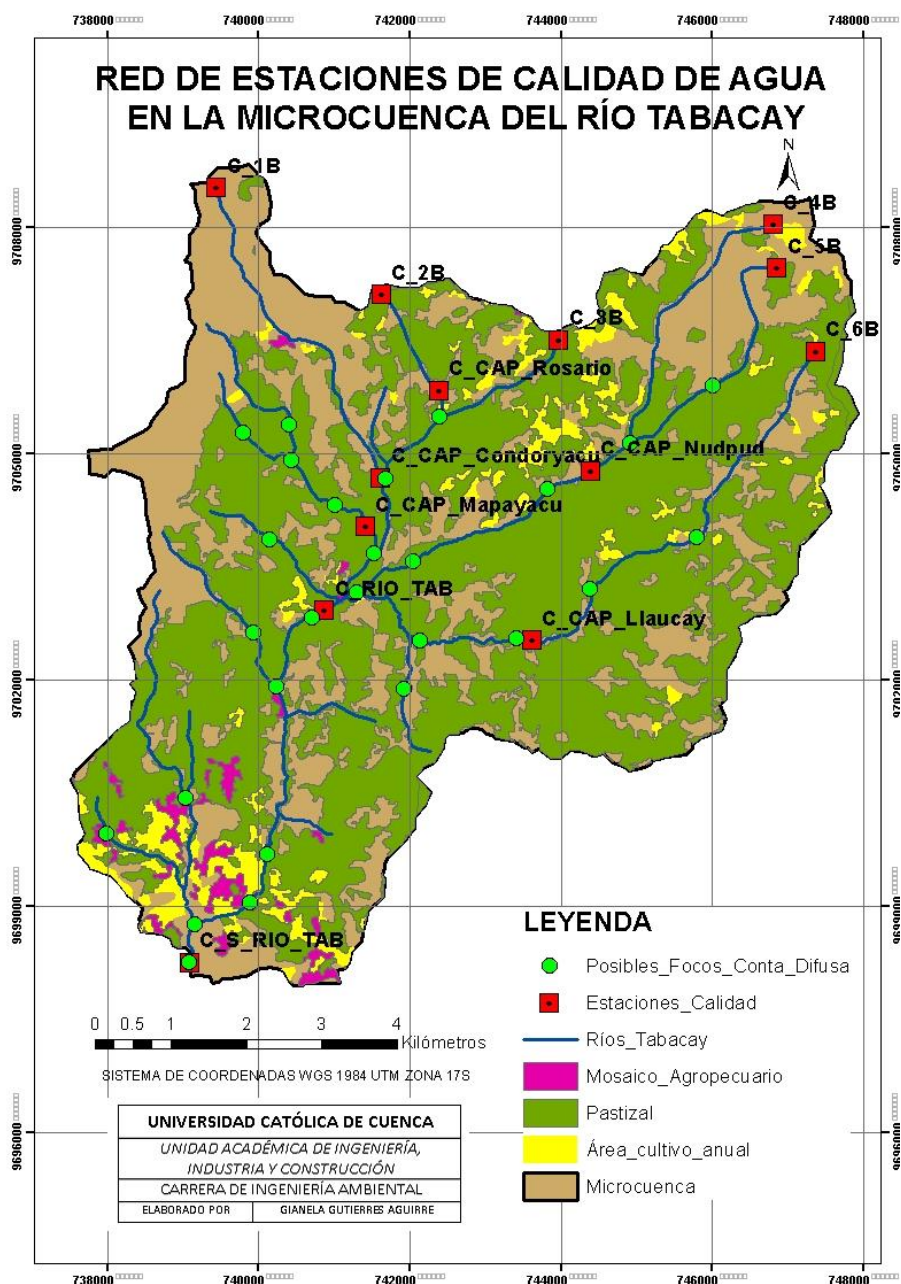


Figura 8. Red de estaciones de calidad hídrica, en base a los posibles focos de contaminación.

Fuente: Elaboración propia.

En el mapa de estaciones de calidad se pueden apreciar los posibles focos de contaminación difusa, a partir de ellos se plantea las estaciones de calidad, en la parte alta de la microcuenca se establecen “blancos”, quienes determinan el parámetro inicial de la calidad del agua. En la microcuenca media se establecen distintas estaciones que

miden la influencia de cambios de usos del suelo de actividades antrópicas como ganadería, agricultura y otros. En la parte baja de la microcuenca se ubica una estación la cual va a establecer el parámetro final de la calidad del agua, a partir de la contaminación que se resume de las actividades antropogénicas.

Tabla 11. Ubicación de las estaciones de calidad de agua en la microcuenca.

Estación de calidad N°	Código	Coordenadas UTM WGS 84		Altura (m.s.n.m)	Quebrada (Q) / Río
		X	Y		
1	C_1B	739446	9708522	3634	Q. Condoryacu
2	C_2B	741625	9707106	3463	Q. Rosario
3	C_3B	743979	9706506	3520	Diagonal a la Q. Rosario
4	C_4B	746819	9708034	3577	aguas arriba de Q. Nudpud
5	C_5B	746869	9707457	3562	aguas arriba de Q. Nudpud
6	C_6B	747382	9706358	3400	aguas arriba de Q. Llaucay
7	C_CAP_Condoryacu	741623	9704685	2920	Q. Condoryacu
8	C_CAP_Rosario	742390	9705841	3043	Rosario
9	C_CAP_Nudpud	744393	9704773	2987	Q. Nudpud
10	C_CAP_Llaucay	743627	9702529	2880	Q. Llaucay
11	C_CAP_Mapayacu	741415	9704041	2880	Q. Mapayacu
12	C_RIO_TAB	740871	9702929	2520	R. Tabacay
13	C_S_RIO_TAB	739085	9698264	2760	R. Tabacay

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Plan de monitoreo.

En el plan de monitoreo hídrico se tendrá presente algo muy importante que son los cambios sustanciales que se dan en el tiempo - en determinados periodos - de manera natural o provocados en el recurso, esto establecerá la frecuencia de monitoreo.

Monitoreo de calidad.

Akela y Meybeck (1996) recomiendan para estaciones en donde el comportamiento natural del recurso hídrico no ha sido perturbado, hacer un mínimo de cuatro muestreos por año (dos en temporada seca y dos en temporada de lluvias). También recomiendan para estaciones ubicadas en sitios estratégicos un mínimo de 12 muestreos por año. La frecuencia de monitoreo puede ser definida por umbrales de calidad permitidos por la autoridad ambiental según la máxima carga contaminante diaria, semanal o mensual.

En la Tabla 12 se presentan los parámetros a considerar para el monitoreo de la calidad del recurso hídrico superficial, de acuerdo Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Afluentes: Recurso Agua.

Tabla 12. Plan de monitoreo de las estaciones de calidad de agua.

	ESTACIÓN	PARÁMETROS		FRECUENCIA
		In-situ	Laboratorio	
MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA	C_1B/C_2B/ C_3B/C_4B C_5B/C_6B		DQO, DBO ₅ , sólidos suspendidos, componentes del nitrógeno, fosfatos, fósforo total, coliformes totales y coliformes fecales.	4 muestreos por año (2 en temporada seca y 2 en temporada de lluvias).
	C_CAP_Rosario/ C_CAP_Condoryacu/ C_CAP_Nudpud/ C_CAP_Llaucay/ C_CAP_Mapayacu	Temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad.		1 muestreo mensual.
	C_RIO_TAB			
	C_S_RIO_TAB			

Fuente: Elaboración propia.

En caso de que las condiciones climáticas (lluvias, tormentas) no permitan la toma de muestras en condiciones seguras, se prescindirá de realizar el monitoreo en el cuerpo receptor, lo que deberá ser debidamente sustentado.

En la Tabla 13 se aprecian las técnicas generales para la conservación de las muestras en el análisis físico-químico, según la norma técnica ecuatoriana INEN 2169:2013, AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

Tabla 13. Técnicas para la conservación de las muestras. INEN 2169: 2013.

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado. PE-HD, polietileno de alta densidad; PFA, perfluoroalcoxi-polímero; FEP, perfluoro (etileno/propileno).	Volumen típico (ml) y técnica de envasado.	Técnica de preservación.	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación.
DQO	P o V	100	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄ .	1 mes
	P	100	Congelar a – 20 °C.	1 mes
DBO	P o V	1000 Llenar contenedor completamente para excluir el aire	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
	P	1000	Congelar a – 20 °C.	1 mes
Sólidos suspendidos	P o V	500	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	2 días
Nitrito	P o V	200	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Nitrato	P o V	250	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 horas

	P o V	250	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HCL	7 días
	P	250	Congelar a – 20 °C.	1 mes
Amoniaco, libre e ionizado	P o V	500	Acidificar a entre pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄ , enfriar a 1°C y 5°C.	21 días
	P	500	Congelar a – 20 °C.	1 mes
Nitrógeno total	P o V	500	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄ .	1 mes
	P	500	Congelar a – 20 °C.	1 mes
Fosfatos	PE – HD o PTFE/ PFA o FEP	Filtrar <i>in situ</i> .	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO ₃ .	1 mes
			Congelar por debajo de – 18 °C.	1 mes
Fósforo total	V o VB o P	250	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄ .	1 mes
	P	250	Congelar a -20 °C.	1 mes

Coliformes totales	V	10	Almacenar a ≤ 6 °C y en oscuridad.	24 horas
Coliformes fecales	Recipiente esterilizado	Dejar un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo.		
pH	P o V	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	6 horas
	Llenar contenedor completamente para excluir el aire			
Temperatura	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .		Inmediatamente
Conductividad	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .		24 horas
Oxígeno disuelto	P o V	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .		Inmediatamente

Fuente: INEN 2169:2013.

Elaboración / adaptación: Propia.

Monitoreo de estaciones meteorológicas.

Los datos que se generen en la estación corresponden a un período de 24 horas contadas desde las 07h00 del día considerando hasta las 07h00 del día subsiguiente (Instituto Nacional de Meteorología e hidrología, 2014). En este caso, se realizarán lecturas diarias y descargas de datos mensualmente.

Tabla 14. Plan de monitoreo de estaciones meteorológicas.

	ESTACIÓN	PARÁMETROS	FRECUENCIA
MONITOREO METEOROLÓGICO	M_1CL	Temperatura,	La recolección de datos es mensualmente.
	M_2CL	humedad del aire,	
	M_3CL	velocidad y dirección del	
	M_4CL	viento, radiación solar, punto del rocío, precipitación,	
	M_5CL	presión atmosférica.	
	M_6CL		

Fuente: Elaboración propia.

Monitoreo de estaciones de aforo.

Según Céleri, De Bièvre, & Ochoa (2012), la respuesta hidrológica de cuencas pequeñas a eventos de precipitación es rápida, los caudales aumentan en cuestión de minutos hasta llegar a caudales pico. Por estos motivos la frecuencia de captura de datos debe ser alta.

Para ello se tendrá un registro de datos horario, obteniendo respuestas rápidas y descarga de datos mensual.

Tabla 15. Plan de monitoreo de estaciones de aforo.

	ESTACIÓN	PARÁMETROS	FRECUENCIA
MONITOREO DE ESTACIONES DE AFORO	A_CAP_Llaucay	Conductividad	Recolección de datos mensual
	A_CAP_Nudpud		
	A_CAP_Rosario		
	A_CAP_Condoryacu	Altura de lámina de agua	
	A_CAP_Mapayacu		
	A_RIO_TAB		
	A_SALIDA_RIO_TAB		

Fuente: Elaboración propia.

El mantenimiento de estas estaciones debe ser periódico en especial en épocas invernales, ya que las condiciones del clima pueden afectar el normal funcionamiento de las mismas. (PROMAS Universidad de Cuenca, 2017)

En cuanto a los técnicos es necesario un personal capacitado porque deberá supervisar regularmente un emplazamiento de observación para vigilar las condiciones

de la superficie (como el crecimiento del césped), ocuparse del mantenimiento básico de los instrumentos (como la limpieza corriente de los mismos), examinar daños y detectar si se ha quebrantado la seguridad. Estas tareas deberán realizarse al menos semanalmente en las estaciones terrestres accesibles. La inspección de los emplazamientos e instrumentos situados en lugares alejados deberá llevarse a cabo tan frecuentemente como sea posible. El personal también deberá estar disponible para ofrecer rápidamente un servicio de mantenimiento cuando se produzcan fallos en los sistemas imprescindibles.

5. CONCLUSIONES

Las redes de monitoreo abarcarán de forma integral la microcuenca del río Tabacay para una mejor gestión del recurso hídrico.

Las estaciones de monitoreo deben ser aprovechadas de la mejor manera como la fuente más confiable de información sobre las condiciones del recurso hídrico de la ciudad, que utilizada de forma racional y planificada reducirán los riesgos asociados a las crecidas o variaciones del caudal en el tiempo, contar con mayor cantidad y calidad de datos facilita el desarrollo de acciones de protección de las cuencas a partir del análisis sobre la calidad del agua de los ríos monitoreados por medio de las estaciones.

Al proponer estaciones de monitoreo tendríamos conocimiento de la calidad de la cuenca hidrográfica y sabríamos exactamente donde hacer planes de acción. Una ventaja de tener varias estaciones de calidad en el recurso hídrico es que se tiene total conocimiento de la calidad y así identificar los puntos de contaminación.

Al establecer estaciones de aforo se tendría mediciones horarias de caudal, por lo tanto se obtendría un conocimiento más amplio para desarrollar modelos hidrológicos, modelos de calidad y reparto del recurso hídrico preciso, para mejorar la dotación a la población, esto es en lo que se enfoca la empresa EMAPAL.

Sin embargo los beneficios solo se percibirán cuando la estación sea instalada completamente. Es necesario resaltar que el personal a cargo de las estaciones de monitoreo deben contar con capacitaciones en materia de monitoreo hidrológico y calidad, procedimientos de monitoreo, operación y mantenimiento del sistema. Ya que estas personas serán las encargadas de obtener los resultados que permitan lograr los objetivos con el que se inició el diseños de las redes de monitoreo que es tener series históricas que sirvan de fundamento para posteriores estudios hidrológicos relacionados a la protección y conservación del recurso hídrico.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Empresa EMAPAL de la ciudad de Azogues, instalar en la microcuenca del río Tabacay, una red de estaciones hidrológica y de calidad, donde se permite captar datos de precipitación, temperatura, humedad del aire, velocidad y dirección del viento, calidad y cantidad de agua con el fin de predecir condiciones críticas.
- Se recomienda que antes de implantar los equipos para la red de estaciones se realicen obras de soporte para adecuar los tramos de río propuestos para el monitoreo del recurso hídrico.
- Se recomienda que la recolección de las muestras se mantengan lo mejor posible junto con los registros de datos de cada una de las estaciones de las redes de monitoreo del recurso hídrico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Ambiente. (2009). *Informe de Monitoreo de la Calidad de Agua en las Cuencas Hidrográficas de Panamá*. Panamá: © 2009 Autoridad Nacional del Ambiente.
- Bruijnzee, S., & Hamilton, L. S. (2000). *Tiempo Decisivo para las Selvas de Neblina*. Cambridge: © UNESCO 2001.
- Buccheri, M. J., & Comellas, E. A. (2012). *Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la GIRH*. Argentina.
- Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., & Cisneros, F. (2006). *Hidrología del Páramo Andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad*. Quito.
- Canada State Water Resources. (2000). *Dissolved Oxygen and*. Canada.
- Casillas González, J. A. (Abril de 2003). *Biblioteca Asocam*. Fuente: Biblioteca Asocam: <http://asocam.org/biblioteca/items/show/1319>
- Castro Fonseca, E. (Mayo de 2008). *Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas*. Sarapiquí: Organización para Estudios Tropicales.
- CEIUCA. (Julio de 2017). *Centro de Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina*. Fuente: Centro de Estudiantes de Ingeniería de la Universidad Católica Argentina : http://ceiucaweb.com.ar/documentos/2-ambiental/3er-anio-1er-cuatri/meteorologia/apunte/instrumentos_met.pdf
- Célleri, R., De Bièvre, B., & Iñiguez, V. (2012). *Efecto de las Plantaciones de Pinos en la Regulación Hidrológica de Microcuencas de Páramo*.
- Célleri, R., De Bièvre, B., & Ochoa, B. (2012). *Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecistemas andinos*. Cuenca.
- CEPIS/OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Lima: © Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C., Orellana Alvear, J., Abril, A., & Carrillo Rojas, G. (2016). Near-Surface Air Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for Temperature Mapping. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research. Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR)*., 678-684.
- De Bièvre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2011). *Hidrología del páramo, Importancia, propiedades y vulnerabilidad. Conocer para Conservar*. Quito.
- EMAPAL EP. (25 de Junio de 2017). *Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues*. Fuente: Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues: http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=115%3Aadaptacion

- Emapal Ep, Municipio de Azogues, CG Paute, & PROMAS . (2003). *Plan de manejo de la microcuenca del río Tabacay*. Azogues.
- Eyre , B., & Pepperell, P. (1999). *Acspatially intensive approach to water quality monitoring in the Rou River catchment*. Australia: Journal of Environmental Management.
- Forsberg, B. (2013). *Propuesta de una Red de Monitoreo Hidrológico para la Cuenca Madre de Dios*. Perú: Wildlife Conservation Society.
- IDEAM- MAVDT. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- INAMHI. (25 de Noviembre de 2015). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Fonte: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología:
<http://www.serviciometeorologico.gob.ec/inamhi-instalo-estacion-meteorologica-en-la-universidad-de-guayaquil-para-optimizar-informacion/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Sistema de Información Geográfica*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Meteorología e hidrología. (2014). *Anuario meteorológico*. Quito: Gestion de la información hidrometeorológica.
- Intituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2006). *Guía y protocolos del monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá: IDEAM.
- Laindustrisfutura. (10 de Noviembre de 2016). *La industria futura*. Fonte:
<https://laindustriafutura.wordpress.com/2016/11/10/medicion-del-punto-de-rocio/>
- Llambí, L. D., Soto, W., Célleri, R., De Bièvre , B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramo*.
- Manson, R. H. (2004). Los Servicios Hidrológicos y la Conservación de los Bosques de México. . *REDALYC*, 3-20.
- Matovelle Bustos, C. M. (2014). *Modelación de la Calidad del Agua en la Microcuenca del río Tabacay*. Azogues.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mora Quizhpi, J. R. (2017). *Diseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos en la zona alta de la microcuenca del río Tabacay - Azogues*. Cuenca.
- Moreno Tovar, A. A., Toro Botero, M., & Carvajal, L. F. (2008). Revisión de criterios y metodologías de diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua en ríos. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 57-68.
- Naranjo Gaibor, L. F. (2013). *Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo*. Quito.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación*. Suiza: © Organización Meteorológica Mundial.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Suiza: © Organización Meteorológica Mundial.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). *Glosario hidrológico internacional*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- PROMAS Universidad de Cuenca. (13 de Julio de 2017). *PROMAS UCUENCA*. Fuente: PROMAS UCUENCA: <http://promas.ucuenca.edu.ec/Promas/index.php/red-hidrometeorologica.html>
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias*. San José, Costa Rica.: IICA.
- Reyes Ponce, K. (2006). *Análisis del estado de las fuentes de agua para consumo humano y funcionamiento de los acueductos rurales en la cuenca del río La Soledad*. Honduras: Turrialba, CATIE.
- Rodríguez, C. (2013). *Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal de la Península de Santa Elena*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Salazar, Á. M. (2000). *Diseño del sistema del recurso hídrico en el municipio de Santiago de Cali*. Santiago de Cali: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente. DAGMA.
- Sanders, T., Adrian, D., & Berger, B. (1976). Design a River Basin Sampling System. *Water Resources Research Center University of Massachusetts at Amherst*, 76-88.
- Sanders, T., Ward, R., Loftis, J., Steele, T., Adrian, D., & Yevjevich, V. (1983). *Designer of Network for Monitoring Water Quality*. Colorado: Water Resources Publications.
- Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano Quito. (10 de Julio de 2017). *Secretaría del Ambiente-Alcaldía*. Fuente: Secretaría del Ambiente-Alcaldía: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>
- Suczhañay Guamán, R. D. (2017). *Efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua, en las captaciones ubicadas en la microcuenca del río Tabacay, pertenecientes ala empresa Emapal EP del cantón Azogues*. Cuenca.
- Tabon, C. (2009). *Los bosques andinos y el agua*. Quito: Activa Diseño Editorial.
- THE NATURE CONSERVANCY-ASOCAÑA-CENICAÑA. (Diciembre de 2012). *Protocolo de Monitoreo Hidrológico*. Cali. Fuente: <http://www.asocana.org/documentos/472014-F910E241-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,B9B9B9.pdf>

Tragsatec. (2013). *Redes de Estaciones Meteorológicas. Del conocimiento a la acción*. Madrid:
Grupo Tragsa.

8. ANEXOS



Anexo A. Recorrido de la zona de estudio y su sistema natural.



Anexo B. Descanso del recorrido de la zona de estudio.



Anexo C. Sistema natural de la microcuenca del río Tabacay.



Anexo D. Actividad ganadera en la microcuenca.



Anexo E. Captación Nudpud.



Anexo F. Captación Rosario.



Anexo G. Captación Condoryacu.