

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA ZONA ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY – AZOGUES”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: JUAN RUBÉN MORA QUIZHPI
C.I. 0105193726

TUTOR: ING. ROLANDO ENRIQUE CÉLLERI ALVEAR Ph.D
C.I. 0602794406

**CUENCA - ECUADOR
2017**



Resumen

El siguiente proyecto de titulación propone el rediseño del sistema de monitoreo hidrometeorológico para la zona alta de la microcuenca del río Tabacay que se compone de cuatro unidades hidrológicas (U.H.), Mapayacu, Condoryacurosario, Nudpud y Llaucay en las cuales se realiza monitoreo de precipitaciones, variables climatológicas y caudales en diferentes puntos. Para el rediseño del sistema de monitoreo se realiza i) la evaluación del sistema actual de monitoreo, en los aspectos operacional, estructuración, series de datos y personal a cargo del sistema de monitoreo para la detección de las falencias del mismo, ii) generación de información cartográfica de la zona de estudio para la determinación de parámetros de rediseño iii) evaluación de datos de precipitación y demanda de agua en la zona alta del Tabacay para delinear variabilidad temporal y espacial de lluvias y obtener aproximaciones sobre la cantidad de agua que se desvía de los cauces naturales para usos antrópicos y iv) la obtención de información de campo a través de aplicación de encuestas para obtener datos adicionales sobre la dinámica de las precipitaciones y del clima en sitios apartados de los puntos actuales de monitoreo. Toda esta información se contrasta e integra para desarrollar una propuesta de un nuevo sistema de monitoreo de recursos hídricos ajustado a la escala de la zona alta del Tabacay que recoja datos representativos para toda la extensión de la zona de estudio tanto en el plano meteorológico como hidrológico.

Palabras clave: zona alta, Tabacay, rediseño, monitoreo hidrometeorológico, detección de falencias, parámetros de rediseño, propuesta de nuevo sistema.



Abstract

This titling project proposes a redesign of the of the hydrometeorological monitoring system for the high zone of the microbasin of the Tabacay river that is constituted by four hydrologic units, Mapayacu, Condoryacu-rosario, Nudpud, and Llaucay in which monitoring of rainfall, climatological variables, and flow rates at different points are made. To carry on the redesign of this monitoring system some activities are executed i) the evaluation of the current monitoring system in the operational aspects, system structuring, data series, and personnel in charge of the monitoring system in order to determine its failures, ii) generation of cartographic information from the study area to determine the redesign parameters, iii) evaluation of rainfall data and water demanding in the high zone of the Tabacay to delineate spatial and seasonal variability and thus get information about the quantity of water that is deviated from its natural riverbed to anthropic uses, iv) getting field information through the use of surveys to have additional evidence related to the rainfall and climate dynamics in remote sites from the current monitoring spots. All this information contrasts and integrates in order to develop a proposal of a new monitoring system of hydrological resources adjusted to the scale of the high zone of Tabacay which collect representative data to the entire study area both meteorological and hydrological aspects.

Key words: high zone, Tabacay, redesign, hydrometeorological monitoring, failures, redesign parameters, new system proposal.



Índice de Contenidos

Agradecimiento	10
1. Introducción.....	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Justificación	12
1.3 Alcance	13
1.4 Objetivos	14
Objetivo General.....	14
Objetivos específicos	14
2. Marco Conceptual	14
2.1 Hidrología en ecosistemas de alta montaña	14
2.1.1 Páramo	14
2.1.2 Bosque Alto-andino.....	15
2.2 Gestión del agua en cuencas hidrográficas	16
2.3 Monitoreo Hidrometeorológico	17
2.4 Sensores remotos	19
2.4.1 Imágenes satelitales	19
2.4.2 Ortofotografías	20
3. Materiales y métodos	20
3.1 Área de estudio	20
3.1.1 Delimitación del área de estudio.....	21
3.2 Evaluación del actual sistema de monitoreo hidrometeorológico.....	21
3.2.1 Aspectos generales	22
3.2.2 Monitoreo meteorológico	22
3.2.3 Monitoreo hidrológico.....	23
3.3 Generación de información cartográfica	23
3.3.1 Curvas de nivel	23
3.3.2 Unidades hidrológicas (U.H.) de la microcuenca	23
3.3.3 Procesamiento de Ortofotografías	23
3.3.3.1 Clasificación de cobertura vegetal y usos de suelo	24
3.4 Evaluación de datos de precipitación y demanda de agua	24
3.4.1 Precipitación	24
3.4.2 Demanda de agua	25
3.5 Parámetros de rediseño del sistema de monitoreo hidrometeorológico..	25
3.5.1 Falencias del sistema de monitoreo.....	25
3.5.2 Información cartográfica	26
3.5.3 Información de precipitación	26



3.5.4 Información de demanda de agua	27
3.6 Estrategia de rediseño	29
3.6.1 Monitoreo meteorológico	29
3.6.2 Monitoreo hidrológico.....	31
4. Resultados	32
4.1 Evaluación del actual sistema de monitoreo hidrometeorológico.....	32
4.1.1 Personal a cargo del monitoreo de la microcuenca del Tabacay.....	32
4.1.2 Series de datos	34
4.1.3 Monitoreo Meteorológico	36
4.1.4 Monitoreo Hidrológico	37
4.2 Información cartográfica.....	39
4.2.1 Pendientes.....	39
4.2.2 Uso de suelo.....	41
4.2.3 Carreteras (red vial)	43
4.3 Evaluación de datos de precipitación y demanda de agua	43
4.3.1 Datos de precipitación	43
4.3.1.1 Variabilidad temporal	44
4.3.1.2 Variabilidad espacial.....	45
4.3.2 Información sobre dinámica de precipitaciones y clima brindada por pobladores de la zona.....	48
4.3.3 Datos de demanda de agua.....	49
4.3.4 Estado del monitoreo hidrológico.....	51
4.4 Falencias detectadas en el sistema de monitoreo actual.....	51
4.5 Propuesta de sistema de monitoreo hidrometeorológico	53
4.5.1 Parámetros de rediseño.....	55
5. Conclusiones y recomendaciones	59
6. Referencias bibliográficas.....	61
7. Anexos	64



Índice de Figuras

Figura 3.1: Ubicación geográfica de la microcuenca del río Tabacay.	21
Figura 3.2: Diagrama para la toma de decisión de ampliar la red de monitoreo meteorológico.	29
Figura 3.3: Diagrama para la selección de puntos de monitoreo meteorológico.	30
Figura 3.4: Diagrama para el diseño de red de monitoreo hidrológico.	31
Figura 4.1: Zona alta de la microcuenca del río Tabacay y red de monitoreo hidrometeorológico actual.	38
Figura 4.2: Clasificación de pendientes para la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.	40
Figura 4.3: Mapa de usos de suelo de la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.	42
Figura 4.4: Comportamiento de lluvias para tres puntos de monitoreo meteorológico para 2014.	46
Figura 4.5: Comportamiento de lluvias para dos puntos de monitoreo meteorológico para 2015.	47
Figura 4.6: Ubicación de encuestados dentro de la zona de estudio.	49
Figura 4.7: Distribución espacial de los puntos de aprovechamiento de agua dentro de la zona de estudio.	50
Figura 4.8: Ubicación espacial de los nuevos puntos de monitoreo.	58



Índice de Tablas

Tabla 3.1: Temas a desarrollar en la encuesta a aplicar al personal a cargo del sistema de monitoreo hidrometeorológico del Tabacay.	22
Tabla 3.2 Clases superficiales a determinar en de la zona alta de la microcuenca del Tabacay.	24
Tabla 3.3: Aspectos a considerar para la detección de falencias en el actual sistema de monitoreo de recursos hídricos del Tabacay.	25
Tabla 3.4: Parámetros de rediseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos.	26
Tabla 3.5: Parámetros para rediseño de red de monitoreo hidrológico.	27
Tablas 3.6: Criterios a tomar en cuenta para la definición de sitios de monitoreo hidrológico.	28
Tabla 4.1: Resultados de la aplicación de encuesta a personal de EMAPAL.	32
Tabla 4.2: Estaciones de monitoreo operativas en la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.	34
Tabla 4.3: Variables registradas y detalle de vacíos de información en las estaciones Nudpud y Rubíes a escala diaria.	35
Tabla 4.4: Parámetros de superficie de la zona de estudio y de sus U.H. ...	39
Tabla 4.5: Valores de pendientes para la zona de estudio.	41
Tabla 4.6: Usos de suelo y cobertura vegetal en la zona alta de la microcuenca del Tabacay.	43
Tabla 4.7: Resultados de revisión de datos de precipitación.	44
Tabla 4.8: Falencias detectadas en el trabajo de monitoreo hidrometeorológico.	52
Tabla 4.9: Parámetros usados para decidir ampliar la red de monitoreo hidrometeorológico.	56
Tabla 4.10: Características de sitios de ubicación para nuevos puntos de monitoreo.	57



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo Juan Rubén Mora Quizhpi, autor/a del Trabajo de Titulación "DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA ZONA ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY – AZOGUES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO AMBIENTAL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 09 de marzo de 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "J. Mora Quizhpi".

Juan Rubén Mora Quizhpi

C.I: 010519372-6



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo Juan Rubén Mora Quizhpi, autor/a del Trabajo de Titulación "DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA ZONA ALTA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY – AZOGUES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 09 de marzo de 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "J. Mora".

Juan Rubén Mora Quizhpi

C.I: 010519372-6



Agradecimiento

Agradezco de manera especial al Ing. Rolando Célleri Alvear Ph.D por la dirección prestada durante todas las fases de elaboración de este trabajo, quien con su conocimiento científico y asesoría fue de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo de titulación. A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues (EMAPAL), especialmente al personal del Departamento de Gestión Ambiental por la ayuda y colaboración prestada y de manera especial a la Blga. Ma. Isabel Quintuña y al Ing. Ismael Paladines por permitir el acceso a datos meteorológicos e hidrológicos de la microcuenca e información de los procesos de monitoreo y por la facilitación y apoyo en recursos logísticos para la realización de las distintas fases de este trabajo de titulación. A la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) por la base de datos de concesiones de agua dentro de la zona de estudio y al Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) por las ortofotografías de la subcuenca del río Burgay, insumos de vital importancia para concretar los objetivos del proyecto.

Juan Rubén Mora Quizhpi.
Cuenca, marzo de 2017.



1. Introducción

1.1 Antecedentes

La microcuenca del río Tabacay es un territorio de gran relevancia para la provincia del cañar debido a la importancia que esta área representa para el normal suministro de agua para las poblaciones subyacentes a ésta. Ultimadamente se ha puesto énfasis en el seguimiento de las condiciones hidrometeorológicas que se desarrollan en la microcuenca, concretamente sobre la zona alta de la misma, debido al papel que esta desempeña en la regulación de los flujos de agua hacia los sitios poblacionales. Un ejemplo de esto es el aprovechamiento que realiza EMAPAL EP y Juntas de Agua de la zona para abastecer de líquido vital a la ciudad de Azogues y parte del sector rural del cantón. Debido a las razones expuestas en agosto del 2003 la Ilustre Municipalidad de la ciudad de Azogues, la Empresa de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP), el Consejo de Obras Emergentes de la Cuenca del Rio Paute y la Universidad de Cuenca acordaron estructurar el Plan de Manejo para la Microcuenca del río Tabacay en el cual consta una sección orientada al monitoreo hidrológico y meteorológico a través de la implementación de una red de monitoreo de variables de esta índole que sería la encargada de la recolección de datos exclusivos de la microcuenca. Mediante convenio de cooperación entre la Universidad de Cuenca a través del PROMAS y EMAPAL EP se acordó la instalación y manejo de la red de monitoreo hidrometeorológico de la zona encargada del seguimiento de variables climatológicas, caudal líquido y carga de sedimentos en distintos puntos de la microcuenca del Tabacay. La red en mención, que a la actualidad funciona en parte, inicialmente estuvo compuesta por tres estaciones de monitoreo de sedimentos en suspensión tipo ISCO que fueron instaladas en los sectores conocidos como Guapán, Rubíes y la quebrada Mapayacu; esta red cuenta también con estaciones de monitoreo pluviométrico ubicadas en la quebrada Condoryacu y en Guapán y finalmente una estación climatológica ubicada en la quebrada Nudpud. En los últimos años se ha reducido la cobertura del monitoreo en la microcuenca del Tabacay con respecto al seguimiento de las condiciones de sedimentos en suspensión en las aguas provenientes de la zona alta de la microcuenca, quedando de esta manera operativa únicamente la estación en el sector de Rubíes la cual solo registra datos de caudal a través de transductores de presión. Respecto a las estaciones pluviométricas se incrementó su número en una unidad la cual ha sido instalada en la quebrada Llaucay. Otras acciones desarrolladas en la zona y orientadas al cuidado de ésta como fuente proveedora de agua han sido la educación ambiental impartida a la población que se sirve del agua que proviene de este territorio, la puesta en marcha de los Acuerdos Recíprocos por Agua (ARA's) dirigidos a los hacendados que habitan dentro de la microcuenca y la adquisición de predios dentro de la zona por parte de EMAPAL EP con el fin de declararlos como áreas intangibles con propósitos de conservación y regeneración ambiental.



1.2 Justificación

La microcuenca del río Tabacay se caracteriza por los diferentes papeles que desempeña y por los servicios ambientales que brinda a los pobladores que habitan en la zona. Uno de los servicios ambientales que la microcuenca brinda es servir de zona de recarga hídrica para luego dotar del suministro de agua para ser potabilizada y distribuida a la ciudad de Azogues. El monitoreo de recursos hídricos comprende establecer un sistema de seguimiento que recoja información confiable y a una escala temporal que refleje su comportamiento, especialmente acerca de las principales variables hidrometeorológicas, una de ellas es la precipitación la cual representa las entradas de agua al ciclo hidrológico de la microcuenca; es necesario monitorear también los caudales de la zona ya que estos representan las salidas de agua de la zona, su seguimiento es tan importante como el seguimiento que se hace a la precipitación. El proyecto “Diseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos de la zona alta de la microcuenca del río Tabacay” pretende desarrollar un sistema de monitoreo ajustado a la zona de estudio tras la evaluación del actual sistema de monitoreo. Actualmente dentro de la zona del Tabacay se está dando seguimiento a las variables climatológicas y caudales. El inconveniente del sistema actual se centra en que los datos reportados presentan un alto número de problemas. Tras una revisión preliminar de datos de caudales recolectados en el sector conocido como Rubíes reportados por transductores de presión y de datos de precipitación reportados hasta diciembre de 2015 tomados por pluviómetros ubicados en las quebradas Nudpud, Condoryacu y Llaucay se han detectado problemas, los cuales pueden ser atribuidos a diversas causas que se generan ya sea en campo como resultado de la propia interacción del equipo encargado del monitoreo con los diferentes elementos presentes en el sitio en el cual fue instalado o debido a otros factores como cambios dados en las cercanías del equipo o por deficiencias en procesos de mantenimiento y calibración. Si estos problemas se mantienen en el tiempo los datos que se reportan estarían dando una visión errada sobre el comportamiento del ciclo hidrológico de la zona, lo cual a futuro podría resultar en problemas de disponibilidad de agua para parte de las actividades que se desarrollan dentro y fuera de la zona de estudio, además esto puede truncar planes y objetivos que se estén desarrollando con la finalidad de conservar y recuperar las condiciones necesarias para mantener un suministro constante de agua o para aprovechar ésta para satisfacer las diferentes necesidades existentes en la microcuenca del río Tabacay.

La importancia de este proyecto radica en desarrollar un sistema de monitoreo de recursos hídricos que se ajuste a las condiciones de la zona, que al momento está al cuidado de EMAPAL EP quienes resguardan la zona alta de la microcuenca del Tabacay. El rediseño del sistema de monitoreo implica fijar la ubicación de los equipos para el registro de datos meteorológicos e hidrológicos a través del análisis de la hidrología de la zona y la evaluación de la oferta y demanda del recurso hídrico dentro del área de estudio, para esto se debe contemplar que la zona está compuesta de diferentes zonas de aporte hídrico



representadas por las U.H. Mapayacu, Condoryacu-Rosario, Nudpud y Llaucay; en cada una de las U.H. de las que se compone la zona de estudio se analiza información cartográfica y datos de precipitación para sacar apreciaciones sobre cómo se comporta la lluvia, además se plantea el uso de herramientas para la recolección de datos cualitativos como la entrevista, la encuesta y trabajos de reconocimiento en campo para reunir información adicional de utilidad para la consecución del proyecto. Respecto a la demanda de agua en la zona, es importante identificar los Puntos de Aprovechamiento de Agua (P.A.) en los cuales haya derivaciones de caudal de los diferentes cauces de los que se compone la red hidrográfica de la zona, esta información representa la otra cara de la moneda en cuanto a lo necesario para el rediseño del sistema de monitoreo. Con la obtención del sistema de monitoreo de recursos hídricos se puede a futuro hacer un seguimiento a mayor detalle de la dinámica que sigue el ciclo hidrológico en la zona alta de la microcuenca del Tabacay. El proyecto ayudará a futuro a formar y consolidar una base de datos confiable y de utilidad para futuras investigaciones que ayuden a gestionar correctamente los recursos hídricos.

1.3 Alcance

El proyecto “Diseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos en la zona alta de la microcuenca del río Tabacay – Azogues” pretende desarrollar una propuesta de sistema de monitoreo de recursos de este tipo para la zona en mención, el cual se desarrolla exclusivamente para las unidades hidrológicas que forman parte de la microcuenca y de las cuales a la actualidad EMAPAL EP capta agua para llevarla a procesos de potabilización siendo estas Condoryacu, Rosario, Nudpud y Llaucay; esto se consigue a través del análisis de información sobre la oferta y la demanda de agua en la zona, para lo cual se recolecta información de la actual red de monitoreo relativa a la estructuración y funcionamiento de ésta y también se usan registros de datos de las estaciones Condoryacu, Llaucay y Nudpud para el caso de datos de tipo climatológico y pluviométricos y datos sobre caudales registrados en el sector Rubíes. Para elaborar la propuesta se genera además información cartográfica de la zona para ser integrada con los datos antes mencionados a través del uso de criterios objetivos mediante los cuales se determinen la estructuración, distribución y ubicación de los diferentes elementos de los cuales se compondrá el nuevo sistema de monitoreo de recursos hídricos de la zona alta de la microcuenca del río Tabacay. La propuesta del sistema a desarrollar incluye también la detección de las falencias del actual sistema de monitoreo para mediante las conclusiones de este proyecto proponer acciones para complementar los resultados del proyecto con la elaboración e implementación a futuro de procedimientos para la gestión de la red de monitoreo y de los datos a generar por parte de las personas interesadas en la gestión de los recursos hídricos de la zona de estudio.



1.4 Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo de recursos hídricos para la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.

Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Evaluar la demanda de agua y el funcionamiento del sistema actual de monitoreo de la microcuenca del Tabacay.

Objetivo Específico 2: Generar información cartográfica de la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.

Objetivo Específico 3: Integrar la información recolectada para el rediseño del sistema de monitoreo a través del uso de herramientas SIG y detección de falencias del sistema actual de monitoreo.

2. Marco Conceptual

2.1 Hidrología en ecosistemas de alta montaña

Los ecosistemas de alta montaña se los cataloga como “las fábricas de agua del planeta” por los procesos que se dan con respecto a la generación y regulación de los flujos de agua hacia las zonas subyacentes (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 2002).

Los ecosistemas de alta montaña se diferencian atendiendo a la altitud a la cual se localizan, así están los bosques alto-andinos que se desarrollan entre los 1500 y 3500 msnm (Tobón, 2008) y los páramos que se desarrollan a partir de los 3500 hasta los 5000 msnm (Buytaert et al., 2003). Diversas características presentes en cada uno de éstos contribuyen a obtener condiciones aptas para la generación de reservas hídricas, como ejemplo esta la naturaleza volcánica de los suelos de páramo que al ser poco profundos y sumamente porosos retienen agua en su interior por largos períodos de tiempo (Buytaert et al., 2003). En los bosques alto-andinos por su parte, la flora con una estructura característica y las condiciones de nubosidad presentes generan mayor intercepción lo cual se traduce en mayores cantidades de agua que van a parar al interior de estos bosques las cuales al igual que en los páramos son almacenadas y liberadas lentamente por mecanismos específicos de estos ecosistemas (Tobón, 2008). Finalmente, el gradiente altitudinal se manifiesta mayoritariamente en la variación de temperatura, misma que su media a 3500 m es 7 °C y decrece en una tasa de 0,5 a 0,6 °C por cada 100m, esto para el caso del páramo (Buytaert et al., 2003).

2.1.1 Páramo

A la actualidad se ha alcanzado un escaso entendimiento del comportamiento hidrológico de estas zonas analizando conductas de variables climáticas, la precipitación y/o flujos superficiales y sub-superficiales a lo largo de un período definido de tiempo para determinar relaciones existentes entre la hidrología del



sitio y factores como el tipo de suelo o la vegetación presente. Los páramos por lo general presentan un clima tropical de alta montaña debido a la constante radiación solar recibida a lo largo del año como consecuencia de la cercanía a la línea ecuatorial (Buytaert et al., 2003). La variación de precipitación en los páramos se muestra entre los 700 a 3000 mm, sin embargo, la lluvia es extremadamente variable en el espacio y tiempo (Buytaert et al., 2003). Las precipitaciones por lo general se presentan con intensidades bajas y muy bajas es decir a modo de lloviznas y se encuentran influenciadas a pequeña escala por condiciones como las variaciones en la velocidad y dirección del viento (Buytaert et al., 2003), mismas que se determinan por las pendientes fuertes y la topografía accidentada (Buytaert, Célleri, Willems, De Bièvre, & Wyseure, 2006). Por otro lado, los suelos de páramo son relativamente homogéneos y están formados por una capa de cenizas volcánicas del cuaternario y por materia orgánica acumulada debido al clima frío y húmedo y a la baja presión atmosférica (De Bièvre, Iñiguez, & Buytaert, 2008). Estas características confieren a los suelos de páramo una excelente capacidad de retención de agua lo cual hace pensar que estos suelos actúan como un reservorio natural. Las cantidades de agua aportadas por la intercepción de la vegetación con la niebla aportan cantidades de agua que no se pueden cuantificar con exactitud a la actualidad.

2.1.2 Bosque Alto-andino

El clima y la distribución de las precipitaciones juegan un papel trascendental en la hidrología de estos sitios; según Tobón, (2008) de manera general esto se ve condicionado por la ubicación de los bosques en el gradiente altitudinal y por el grado de exposición a masas de nubes, de otro lado, estos bosques reciben también considerables aportes de precipitación tanto vertical como horizontal lo que es determinante en su rendimiento hídrico. El comportamiento hidrológico de estos ecosistemas se ve influenciado por dos factores principales: a) entradas de agua debido a precipitaciones relativamente altas y b) la baja evapotranspiración (Tobón, 2008). Las cantidades de precipitación que recibe el bosque alto-andino se ven incrementadas por el aporte adicional de agua por parte de la niebla y la precipitación horizontal, por otro lado la nubosidad actúa reduciendo la radiación solar y el déficit de vapor en el entorno, lo cual llega incluso a suprimir los procesos de evapotranspiración (Tobón, 2008). Además, características hidráulicas y físicas de los suelos como una elevada porosidad, capacidad de infiltración, retención de agua y conductividad hidráulica confieren a estos ecosistemas buena capacidad de regulación hídrica (Tobón, 2008). Adicional a esto, por lo general los suelos presentan una capa de musgo y materia orgánica la cual almacena agua que sumado a la presencia de niebla y la baja evapotranspiración hacen posible una humedad casi permanente dentro de estos ecosistemas (Schawe et al., 2008 citado Tobón, 2008). La regulación de la escorrentía y el mantenimiento de los caudales base tienen mucho que ver con la presencia de vegetación en los bosques alto-andinos (Stadt Müller, 1987 citado en Tobón, 2008). Con todo lo descrito, el rendimiento hídrico de los bosques de alta montaña se encuentra relacionado con factores que al



combinarse ofrecen condiciones para tener caudales constantes; puntualmente algunos de estos factores son: la baja temperatura (Kitayama y Aiba, 2002 citado en Tobón, 2008), alta humedad relativa presente en forma permanente (Odum et al., 1970 citado en Tobón, 2008), presencia de epifitas y una capa gruesa de briofitos en la superficie del suelo y un horizonte orgánico bien desarrollado por lo que los suelos permanecen gran parte del año con humedad cercana a la capacidad de campo o por lo general saturados (Tobón, 2008) y una baja evapotranspiración y por ende una baja demanda de agua por parte de la atmósfera (Frumau et al., 2009 citado en Tobón, 2008).

2.2 Gestión del agua en cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica se define como el área delimitada por las divisorias de aguas de un sistema de arroyos y ríos que convergen en una misma desembocadura (Global Water Partnership & Organizations, 2009). Esta área es en la cual se dan procesos de generación, transporte, uso y demás mecanismos relacionados de manera directa con los recursos hídricos. Las cuencas hidrográficas deben tomarse en cuenta como el marco de referencia para iniciar la gestión de los recursos hídricos ya que son las principales formas terrestres al interior del ciclo hidrológico que captan y concentran el agua proveniente de las precipitaciones (Dourojeanni, Jouravlev, & Chávez, 2002). El manejo de cuencas se concibe como un conjunto de acciones realizadas para regular y tratar de controlar la descarga de agua proveniente de la misma. Las acciones que se ejecutan para emprender el manejo de una cuenca hidrográfica se orientan a usarla como captadora de agua para distintos fines y para reducir el impacto de la escorrentía sobre zonas consideradas vulnerables; últimamente el manejo de cuencas ha incorporado un nuevo objetivo el cual se dirige hacia mejorar la calidad del agua y mantener la disponibilidad de la misma (Dourojeanni et al., 2002). A la actualidad el manejo de cuencas se dirige hacia diferentes frentes de trabajo que se complementan para el correcto manejo de los recursos hídricos tratando aspectos más específicos como conservación de suelos, capacidad de retención de agua, protección contra la erosión, preservación de ecosistemas, monitoreo hidrometeorológico, etc. Para lograr todas estas actividades se deben ejecutar un sinnúmero de acciones, las cuales pueden ser agrupadas en los siguientes temas 1) monitorear, investigar, coordinar y regular; estas actividades se emplean en la recolección de datos para el reporte de parámetros como calidad, cantidad y disponibilidad de agua, etc. 2) planificar y financiar; aquí se lleva a cabo la búsqueda de mecanismos y criterios para distribuir el agua entre sus diferentes usuarios incluido el medio ambiente, se realiza también la formulación de planes para asegurar un aprovechamiento a mediano y largo plazo que va de la mano con la movilización de los recursos que hagan posible la ejecución de estas actividades. 3) desarrollar y administrar; se incursiona en acciones como diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura hídrica sea para el seguimiento de condiciones de generación y conservación de fuentes o para prevención y control de eventos. La gestión de cuencas incorpora también a los actores ubicados en el área que presenta un



valor hídrico, el “enfoque participativo” donde el proceso de manejo va de la mano con el involucramiento de la población local en los aspectos relacionados al manejo de una cuenca hidrográfica. Hablar de gestión del agua dentro de una cuenca hidrográfica contempla también el desarrollo de políticas para el uso y protección de los recursos no solo hídricos si no de los recursos naturales en general dentro de un territorio donde las circunstancias de aprovechamiento del agua se vuelven cambiantes con el pasar de tiempo. A nivel de cuencas hidrográficas la gestión de sus recursos debe hacerse de manera integrada y puede definirse como un proceso que permite la gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de los límites de una cuenca para optimizar y compartir equitativamente el resultante bienestar socio-económico sin comprometer la salud de ecosistemas vitales a largo plazo (Global Water Partnership & Organizations, 2009).

Antes de abordar la gestión de una cuenca hidrográfica y los recursos que en ella se encuentran es importante conocer qué es lo que se va a gestionar para así desarrollar estrategias válidas y apegadas a la realidad para obtener los resultados deseados con los proyectos, planes o programas a desarrollar e implementar. De este modo, la caracterización y diagnóstico de un territorio de esta naturaleza es indispensable, donde la caracterización está dirigida fundamentalmente a cuantificar parámetros que describen la estructura física de una cuenca con el fin de establecer posibilidades, limitaciones y problemas presentes y potenciales al interior de un área de trabajo (Umaña, 2002). Por otra parte, está el diagnóstico de una cuenca en el cual se recolecta información sobre la capacidad, estado y situación integral de una cuenca tomando en cuenta todos sus componentes y actores, además se obtiene información sobre los servicios que ésta brinda. Este análisis se enfatiza en los aspectos socioeconómicos, biofísicos, tecnológicos y productivos lo cual trae como resultado una descripción de estos aspectos, se obtiene también información sobre el potencial de la cuenca, los usos que se dan a los recursos de la misma y problemas al interior de ésta conjuntamente con sus causas y efectos.

2.3 Monitoreo Hidrometeorológico

El monitoreo hidrometeorológico representa un proceso de seguimiento de las condiciones de formación, movimiento y renovación del recurso hídrico durante un tiempo determinado en un área específica (IDEAM, 2004). El diseño de un sistema de monitoreo hidrometeorológico presupone el planteamiento de las siguientes interrogantes ¿Cuáles son las variables que hay que medir?, ¿En qué lugar hay que medirlas?, ¿Con qué frecuencia realizarlo?, ¿Duración del programa de monitoreo? y ¿Cuál es el grado de exactitud las mediciones? (Organización Mundial de Meteorología, 2011). El desarrollo de un sistema de monitoreo también implica la definición del objetivo del mismo, en éste se reflejarán los alcances del proyecto. Generalmente los objetivos de un sistema de monitoreo se asemejan entre sí, pero se diferencian uno del otro en las metas que se desea alcanzar; en un nivel inicial, el solo seguimiento de los recursos



hídricos es un objetivo válido ya que así se consigue un diagnóstico sobre el estado del agua un tanto superficial al obtener tendencias temporales y espaciales de la cantidad del recurso mediante series de datos históricas consolidadas a partir de una red de monitoreo. La vigilancia y control se sitúan en un nivel medio, porque a través de éstas entidades ambientales pueden conocer condiciones de cantidad y disponibilidad del agua para los diferentes usos dentro de un territorio, permite también evaluar los efectos a largo plazo de proyectos de aprovechamiento de este recurso sobre la disponibilidad futura del agua. En un nivel superior, el monitoreo hidrometeorológico se realiza con metas de simulación de los factores responsables del transporte, almacenamiento y distribución del agua en una zona de interés hídrico. En definitiva, mediante este objetivo los gestores de recursos hídricos pueden conocer las características de las masas de agua, hacer predicciones sobre la variación de las características hidrológicas de la zona de interés, además del seguimiento y verificación de acontecimientos como crecidas y/o sequías.

Según Hamilton, (2012), las fases o etapas esenciales para el diseño no solamente de una red o sistema de monitoreo sino de un programa de monitoreo son: un sistema de gestión de la calidad de la información, el diseño de la red de monitoreo, la tecnología necesaria para encaminar el proyecto, la capacitación de quienes estarán al frente del proyecto y la gestión de los datos registrados por el sistema. El sistema de gestión de la calidad se refiere a desarrollar un conjunto de procedimientos preestablecidos que aseguren que los procesos a seguir para la producción de datos sean correctos y que se rijan a protocolos definidos y que mantengan la calidad de los datos a generar. En cuanto al diseño de la red, esta etapa está orientada a obtener una red de monitoreo sólida que haga frente a problemas sean estos de tipo administrativo, operativo o técnico. En esta fase, un aspecto clave es la densidad de estaciones del sistema de monitoreo ya que ésta debe ajustarse a las características geofísicas y biofísicas de la zona de estudio, al tomar en cuenta estas variables para la ubicación de los diferentes equipos para el registro de datos la representatividad y fiabilidad de los mismos aumenta. Según FONAG (2009), factores como el avance de frontera agrícola, aumento de niveles de erosión y pérdida de la estructura del suelo debido a deforestación y pastoreo intensivo influyen sobre la estructura de los datos a obtener, a través de procesos naturales pero que de alguna manera han sido catalizados por prácticas humanas. De otro lado, la elección de la tecnología a usar para el registro de datos es vital porque es con el empleo de ésta que se recopilará la información que podrá ser usada en proyectos futuros para el mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos. La calibración, sensibilidad, precisión de los instrumentos y facilidades que ofrecen son aspectos a analizar antes de adquirir o poner en funcionamiento cualquier tipo de tecnología. La capacitación para el uso y mantenimiento de los equipos de monitoreo es importante para mantener la calidad de los datos a recoger, esta fase dentro del diseño de un sistema de monitoreo hidrometeorológico ayuda a controlar errores a nivel de procedimientos que con frecuencia son los más



difíciles de detectar cuando los equipos se encuentran operando por un tiempo determinado, adicionalmente con esto se reduce considerablemente la frecuencia con la cual ocurren dichos errores (Hamilton, 2012). Finalmente, en la estructuración de un sistema de monitoreo se incluye la gestión de los datos obtenidos, en teoría esta es la fase en la cual se ven los resultados del monitoreo a través de la visualización, procesamiento y corrección de la información colectada que refleja el comportamiento de la hidrología y meteorología de una zona determinada. La gestión de los datos debe también garantizar la asequibilidad y una coherente y segura consolidación de la información para su rápido acceso y uso por parte de los actores interesados. En definitiva, un sistema de monitoreo hidrometeorológico es un medio para la recolección de datos cualitativos y cuantitativos de variables y características de los recursos que hacen posible mantener las condiciones para una constante regeneración del ciclo hidrológico y representa el primer paso para el tratamiento y posterior evaluación y predicción de cambios en el ciclo hidrológico de una zona en específico (Alekseevskii, Zavadskii, Krivushin, & Chalov, 2015).

2.4 Sensores remotos

Sensores remotos se conceptualiza como la técnica a través de la cual se obtiene información de un objeto o de un proceso natural mediante el análisis de datos tomados con instrumentos (sensores) que no están en contacto con dichos objetos (TELEDET, 2007). Esta técnica usa la interacción que se da entre los objetos terrestres y la radiación solar y su posterior reflexión o emisión después de generar en ella modificaciones provocadas por la estructura y composición de dichos objetos, la cual es registrada por sensores capaces de captar las relaciones espectrales de los diferentes materiales presentes en la superficie terrestre con la radiación solar (Pérez, 2007). Para el registro de datos de las diferentes superficies terrestres los sensores remotos se valen de las distribuciones de energía que están dentro del Espectro Electromagnético (EEM); los sensores adquieren datos a partir de la reflexión y emisión de Radiación Electromagnética (REM) por parte de los objetos terrestres debido a los atributos que cada superficie en particular presenta (Pérez, 2007). Los datos registrados por los sensores son reportados como fotografías análogas o digitales, esta última representación se ha convertido en la forma actual de aprovechamiento y procesamiento de esta clase de información.

2.4.1 Imágenes satelitales

Son un producto que se obtiene a partir de un sensor instalado a bordo de un satélite artificial que capta la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo terrestre y es una representación visual-fotográfica de éste (TELEDET, 2007). Estas representaciones de la superficie terrestre se generan para gran variedad de aplicaciones, concentrándose más en los SIG y preferentemente en las aplicaciones cartográficas. Estas imágenes poseen características como representación de colores, resolución espacial, espectral, radiométrica o temporal, entre otras, que van a depender de las características



Universidad de Cuenca

del sensor con el cual han sido tomadas y que les confiere ventajas para la realización de estudios en campos de investigación de diverso tipo. Las imágenes satelitales se derivan en dos grupos principales que son las pancromáticas que no son más que imágenes generadas a partir de una sola banda la cual abarca parte del espectro visible e infrarrojo cercano del EEM lo cual da como resultado una imagen en escala de grises, por otro lado, las imágenes multispectrales se generan a partir de sensores conformados por distintos detectores que trabajan sobre diferentes secciones del EEM y son capaces de medir la reflectancia en diferentes bandas las cuales se combinan para crear imágenes a color, el número de estas bandas va desde 3 hasta 14 en la actualidad (Flores, 2010).

2.4.2 Ortofotografías

Las ortofotografías son imágenes aéreas de un terreno que presentan el mismo valor cartográfico que un plano de este tipo y que han sido obtenidas tras un proceso de rectificación que permite trabajar con la escala y nivelación de las unidades geométricas reales de las cuales se compone (Orellana, 2006). Estos insumos de trabajo se obtienen a partir de un proceso fotogramétrico denominado “rectificación” el cual toma como insumo una proyección cónica y la convierte en una proyección ortogonal. La ventaja que ofrece esta técnica de tratamiento de fotografías es la obtención de pseudo-mapas de zonas de las cuales las técnicas de fotografía clásica no lo permiten. El proceso de rectificación podría evitarse si se cumplen dos condiciones: ángulo i o de inclinación de la toma de la fotografía nulo y que el terreno a fotografiar sea plano y horizontal. Conseguir estas condiciones en la práctica es imposible, por esta razón se aplican técnicas de rectificación a las fotografías con el fin de corregir deformaciones que se presentan en la fotografía original por causa del ángulo de inclinación con el cual han sido tomadas. Sin embargo, las fotografías presentan todavía desplazamientos debido al relieve del terreno, por esto se aplica la rectificación diferencial u ortorectificación dando como resultado las ortofotografías (Otero, Ezquerro, Rodríguez, Martín, & Bachiller, 2008).

3. Materiales y métodos

3.1 Área de estudio

La microcuenca del río Tabacay administrativamente se encuentra ubicada en las parroquias Guapán y Bayas del catón Azogues; pertenece a la subcuenca del río Burgay, que a su vez es parte de la cuenca del río Paute (Cajas, 2005).

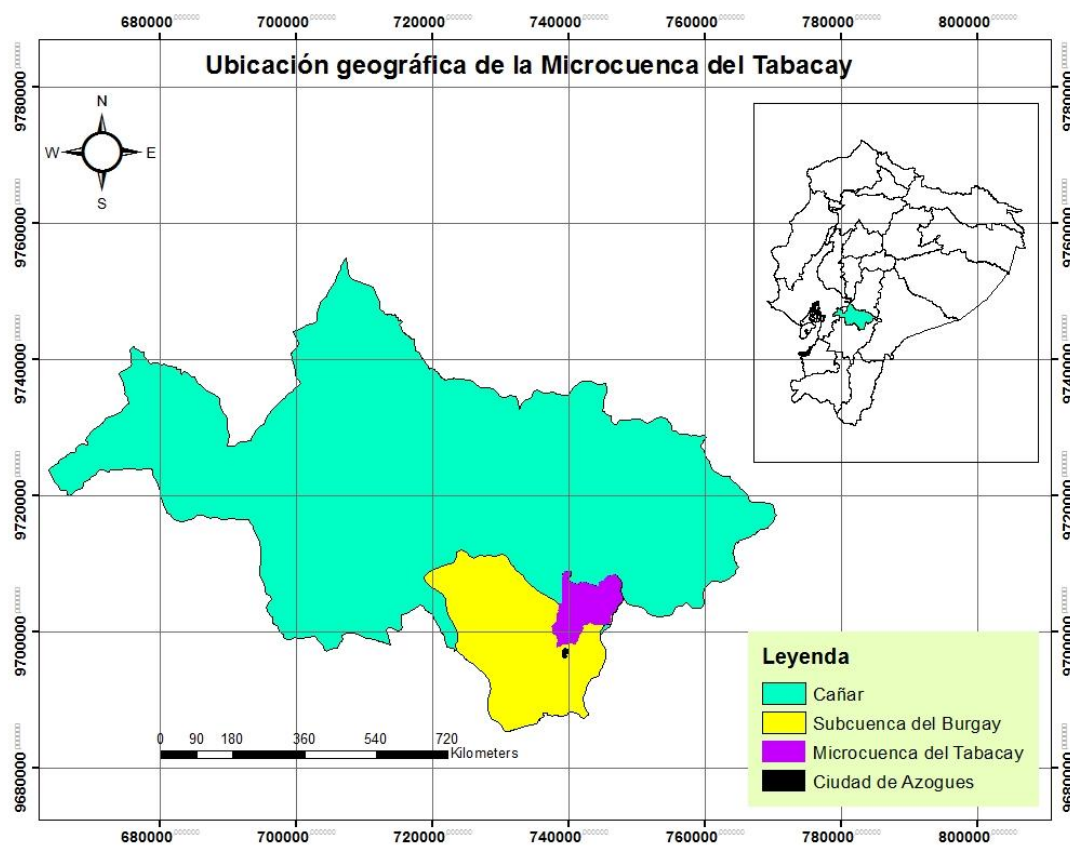


Figura 3.1: Ubicación geográfica de la microcuenca del río Tabacay. a
Elaboración: Autor, 2016.

3.1.1 Delimitación del área de estudio

El área de estudio corresponde a las U.H. que conforma la parte alta de la microcuenca del río Tabacay y que aguas abajo en el sector denominado Rubíes forman el río que da nombre a la zona. Las U.H. se denominan Mapayacu, Condoryacu-Rosario, Nudpud y Llaucay siendo las tres últimas el objeto principal de este estudio debido a que son fuentes de captación de agua para procesos de potabilización. La delimitación de la zona de estudio se hace a partir de un DEM y de la red hidrográfica información que se geo-procesa para obtener una delimitación automática de la zona alta de la microcuenca mediante el empleo de herramientas SIG en ArcGIS.

3.2 Evaluación del actual sistema de monitoreo hidrometeorológico

La evaluación del sistema actual de monitoreo se realiza haciendo una revisión del proceso que se sigue para la adquisición de datos hidrometeorológicos en la microcuenca del Tabacay. El proceso se dirige hacia todos los elementos sean estos humanos, operativos, técnicos o de gestión de los datos que posee el sistema actual. Se obtiene información del funcionamiento del sistema de dos



maneras. 1) Evaluar el sistema en aspectos generales como la ubicación y distribución espacial de estaciones.

Dentro de este punto está incluida la evaluación al personal que está a cargo del sistema de monitoreo; esta evaluación se hace para determinar conocimientos en temas de hidrología y monitoreo hidrometeorológico. 2) Separar los componentes del sistema usando como punto de bifurcación las variables que se registran de acuerdo al tipo de monitoreo que se realiza. A partir de ese punto se evalúan aspectos de generación de datos, estado de equipos y procesos afines a la gestión de datos y mantenimiento operativo de los equipos.

3.2.1 Aspectos generales

Se hace una indagación de los procesos de monitoreo desde su inicio reportando número total de estaciones operativas y las variables que miden, períodos de tiempo en el cual los equipos han reportado datos y vacíos de información. Se determina la ubicación espacial de todas las estaciones de las que se compone el sistema de monitoreo hidrometeorológico. Se elabora un mapa digital en el cual se ubiquen las diferentes estaciones de monitoreo en la zona alta de la microcuenca del Tabacay. El mapa se genera usando como insumos cartografía básica y de libre acceso de la provincia del Cañar generada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) a una escala 1:50.000.

Para la evaluación de conocimientos y resultados obtenidos por el personal de EMAPAL EP con la puesta en marcha del sistema de monitoreo se aplica una encuesta a los actuales encargados del sistema de monitoreo. En la encuesta se abordan 5 temas generales que se citan en la Tabla 3.1 con los que se busca obtener datos sobre el nivel de conocimiento de cada una de las personas a cargo del monitoreo hidrometeorológico de la zona del Tabacay.

Tabla 3.1: Temas a desarrollar en la encuesta a aplicar al personal a cargo del sistema de monitoreo hidrometeorológico del Tabacay.

Tema
1. Conocimientos en hidrología
2. Monitoreo hidrometeorológico
3. Operación y mantenimiento
4. Determinación de parámetro hidrológicos
5. Productos generados por parte del personal a cargo del monitoreo

Fuente: Autor, 2016.

La encuesta consta de 42 preguntas y se las plantea de manera abierta y cerrada con el fin de obtener información detallada sobre cada tema que se aborda. El modelo de encuesta se adjunta como Anexo 1.

3.2.2 Monitoreo meteorológico

Se contabilizan los equipos disponibles para el registro de estas variables estén éstos operativos o no, los equipos se registran en el modelo de ficha que se adjunta como Anexo 2. Los problemas operativos de los equipos se registran



puntualmente conjuntamente con la causa que provoca el problema, de ser esta conocida, el registro se apoya con evidencia fotográfica.

Se realiza una verificación del sitio en el que se encuentra la estación de monitoreo con el fin de que ésta cumpla con dos condiciones 1) proteger los equipos de factores externos y 2) evitar la influencia de factores propios de la estación y del sitio de emplazamiento y sus alrededores sobre las mediciones de las variables.

3.2.3 Monitoreo hidrológico

La evaluación de este componente se realiza siguiendo la misma metodología que se propone para el componente meteorológico en cuanto al registro de equipos de monitoreo.

3.3 Generación de información cartográfica

Se genera información cartográfica de la zona alta de la microcuenca del Tabacay que sirve para determinar parámetros de rediseño para el sistema de monitoreo.

3.3.1 Curvas de nivel

Se generan curvas de nivel para la zona de estudio que se ajusten a la extensión y a su representatividad espacial y así apreciar las variaciones topográficas locales. Las curvas de nivel se obtienen a partir del DEM usado en el proceso de ortorectificación de ortofotografías otorgado por el programa SIGTierras. Se generan curvas de nivel con un espacio entre líneas de 10 m. y se las somete a un proceso de suavización.

3.3.2 Unidades hidrológicas (U.H.) de la microcuenca

Se usa el DEM de la zona, a partir del cual se generan datos sobre la dirección y acumulación de flujos de agua en la zona, se usa también la red hidrográfica la cual sirve para definir las zonas de aporte hídrico.

Esta información se genera y procesa en ArcGIS 10.1 a través de las herramientas contenidas en el ArcToolBox en la sección Hydrology para la obtención de toda la información necesaria para la delimitación de las U.H. de las que se compone la zona de estudio. Con esta información se determinan parámetros de superficie de cada una de las U.H. y de la totalidad de la zona de estudio. Se genera también un mapa de pendientes para determinar el porcentaje de cada una de ellas dentro de la zona de estudio y de cada U.H. mediante la siguiente clasificación 0 a 5 % llanuras, 5 a 10 % llanuras inclinadas, 10 a 20% rampas, 20 a 40 % talud y >40% terrenos escarpados (Suarez, 2012).

3.3.3 Procesamiento de Ortofotografías

Las ortofotografías otorgadas por el SIGTierras tras petición formal, cuentan con una resolución espectral de 4 bandas, de las cuales 3 pertenecen al espectro visible (R, G, B) y una al infrarrojo próximo, además cuentan con una resolución espacial de 0.3 m. Antes de realizar el proceso de clasificación de superficies proceso para el cual se solicitó esta información, se genera un mosaico de



imágenes para visualizar en un solo ráster toda la zona de estudio a la cual se le asigna el sistema de coordenadas WGS 84/UTM zone 17S.

3.3.3.1 Clasificación de cobertura vegetal y usos de suelo

En esta sección se trabaja con ortofotografías generadas en el año 2010. El número de clases de superficies a determinar son seis.

Tabla 3.2 Clases superficiales a determinar en de la zona alta de la microcuenca del Tabacay.

	Clases superficiales
1	Páramo
2	Bosque primario
3	Bosque secundario
4	Zonas pastoriles
5	Suelo descubierto
6	Cuerpos de agua

Fuente: Autor, 2016.

Se realiza un proceso de clasificación supervisada a través de la determinación de puntos de control que representan a las clases superficiales. Estos puntos se crean de manera sistemática sobre la ortofoto de la microcuenca mediante interpretación visual de la misma y se apoya el análisis con la técnica de combinación de color natural y falso color a través de la cual es posible identificar con mayor facilidad diferentes tipos de cobertura y uso de suelo. Creados los puntos de control se extrae la información correspondiente a las firmas espectrales que muestran la forma única en la que cada superficie se muestra en términos de radiación reflejada. La clasificación de superficies se hace usando el algoritmo denominado Maximun Likelihood Clasification.

Se realiza una edición de la información resultante, debido a que el mapa generado contiene superficies clasificadas con un área considerable como despreciable que en muchos de los casos representan áreas que no han sido clasificadas correctamente. La eliminación de estas pequeñas áreas permite visualizar más claramente las superficies clasificadas. Se realiza la verificación de la información apoyando el análisis con fotointerpretación de la ortofoto de la microcuenca.

3.4 Evaluación de datos de precipitación y demanda de agua

Estos datos se evalúan para obtener información sobre la variabilidad temporal y espacial de lluvias y sobre la demanda de agua o Puntos de Aprovechamiento (P.A.) dentro de la zona de estudio y en cada U.H.

3.4.1 Precipitación

Se accedió a datos de precipitación de las quebradas Condoryacu, Nudpud y Llaucay recolectados por EMAPAL EP para delinear la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones.



3.4.2 Demanda de agua

Se refiere a los P.A. dentro de la zona de estudio donde se desvía el caudal de los cauces que forman la red hidrográfica de la zona alta del Tabacay. Esta información se obtiene a partir de la base de datos de las adjudicaciones de agua que han sido concedidas por SENAGUA a los usuarios de la microcuenca, se accedió a esta información mediante petición formal y consiste en una base de datos de todos los P.A. existentes dentro de toda la microcuenca del río Tabacay, de esta base de datos se trabaja con aquellas adjudicaciones que se encuentran dentro del perímetro de la zona alta de la microcuenca.

3.5 Parámetros de rediseño del sistema de monitoreo hidrometeorológico

A partir de las diferentes fuentes de información con las que se cuenta se determinan parámetros que se analizan para plantear una propuesta para el rediseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos exclusivo para la zona alta de la microcuenca del Tabacay.

3.5.1 Falencias del sistema de monitoreo

La detección de falencias del sistema es indispensable sea que provengan éstas de la estructuración operacional del sistema o del grupo humano a cargo de éste. Aquí se buscan las deficiencias del sistema de monitoreo y se hace a través del análisis de la información colectada en la sección “Evaluación del sistema de monitoreo hidrometeorológico existente” donde se ponen en claro los aspectos citados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Aspectos a considerar para la detección de falencias en el actual sistema de monitoreo de recursos hídricos del Tabacay.

	Aspecto
1	Equipos de monitoreo meteorológico operativos y no operativos
2	Equipos de monitoreo hidrológico operativos y no operativos
3	Infraestructura de estaciones
4	Calibración y mantenimiento de equipos
5	Protocolos de transmisión, pre-procesamiento y almacenamiento de datos
6	Evaluación de series de datos existentes
7	Bases de datos
8	Conocimiento en materia hidrometeorológica por parte del personal a cargo del sistema de monitoreo
9	Objetivos y fines del sistema de monitoreo
10	Metas obtenidas hasta el momento con el monitoreo

Fuente: Autor, 2016.



3.5.2 Información cartográfica

La ubicación de las estaciones de las que se compone el sistema de monitoreo se analiza para obtener las características de los sitios de emplazamiento y tomarlos como punto de partida para el rediseño del sistema de monitoreo. Se combina la información cartográfica digital generada como los mapas de las U.H., la distribución espacial de las estaciones, pendientes y usos de suelo y se la contrasta con la evaluación de la precipitación y demanda de agua para determinar áreas que necesiten ser monitoreadas.

Tabla 3.4: Parámetros de rediseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos.

Información	Parámetros
Delimitación de U.H.	Área de cada unidad hidrológica
Información de estaciones de monitoreo	Ubicación espacial dentro de cada U.H.
	Altitud
	Número de estaciones (total y en cada U.H.)
	Tipo de cobertura vegetal circundante y del terreno de ubicación
Curvas de nivel	Pendiente del terreno de ubicación
	Rango altitudinal de cada U.H. y de la zona de estudio
Cobertura vegetal y uso de suelo	Cotas max. y min.
	Clases superficiales en cada U.H.
Predios pertenecientes a EMAPAL EP	Distribución de clases superficiales en cada U.H.
	Ubicación dentro de la zona de estudio
	Clases superficiales dentro de estos predios
Red vial	Pendientes
	Accesibilidad

Fuente: Autor, 2016.

3.5.3 Información de precipitación

Las series de datos usadas corresponden un período de dos años (enero 2014 hasta diciembre 2015) de cada una de las estaciones meteorológicas operativas.

Se realizan gráficos de barras de precipitación mensual de cada una de las series de datos para cada año en cada estación de monitoreo, para observar el comportamiento de las lluvias en cada punto monitoreado. De estos gráficos se obtiene los siguientes datos: 1) precipitación anual 2) meses de mayor pluviosidad y 3) meses de menor precipitación. Los datos de precipitación anual se comparan entre sí para delinear la variabilidad espacial de las lluvias a esta escala, y se determina la variabilidad temporal de lluvias a partir de los meses de mayor y menor lluvia.

Finalmente, se determina y usa información de apoyo que los pobladores brindan sobre la dinámica de las lluvias y el clima mediante la aplicación de una encuesta que se encuentra formada por 9 preguntas y se aplica a las personas que habitan



en zonas alejadas de los puntos de monitoreo. Las coordenadas geográficas se toman para cada uno de los puntos en los cuales se realizan las encuestas para ubicarlos espacialmente sobre el área de estudio y relacionarla con la información cartográfica generada. Con la aplicación de esta encuesta se busca obtener información sobre la dinámica de las precipitaciones y del clima en general para incluirla en los análisis que determinen dónde situar nuevas estaciones de monitoreo y qué variables meteorológicas registrar. La encuesta se adjunta como Anexo 3.

3.5.4 Información de demanda de agua

Se determina el número total de P.A. dentro de la zona de estudio y en cada U.H haciendo uso de las coordenadas geográficas de cada punto. Los datos generados se combinan con la información de la red hidrográfica de la microcuenca, para determinar potenciales sitios para la ubicación de puntos de monitoreo hidrológico. Seguidamente, se determinan los parámetros citados en la tabla 3.5 para apoyar los resultados a obtener con el análisis anterior.

Tabla 3.5: Parámetros para rediseño de red de monitoreo hidrológico.

Información	Parámetros
Caudales de aprovechamiento	Caudales máximos de aprovechamiento en cada U.H.
Distribución espacial de P.A.	U.H. de ubicación
Superficie de la zona de estudio y cada U.H.	Área cubierta por el monitoreo actual
Mapa de uso de suelo	Cobertura vegetal presente en las cercanías del punto de monitoreo
Vías	Accesibilidad (cercanía a carreteras)

Fuente: Autor, 2016.

Después del análisis e identificación de potenciales zonas de monitoreo hidrológico mediante información digital se realiza una valoración en campo para establecer condiciones necesarias para definir puntos para la realización de monitoreo hidrológico. Los sitios considerados deben tratar de cumplir con la mayor parte de condiciones citadas a continuación.



Tablas 3.6: Criterios a tomar en cuenta para la definición de sitios de monitoreo hidrológico.

	Criterio
1	El curso del río debe ser recto, que no haya cambios en la dirección del flujo con el objeto de que las mediciones a realizar sean correctas.
2	Sin efecto de remanso.
3	La corriente debe estar confinada en un solo cauce para todos los niveles y no existir corrientes subterráneas
4	El lecho del río no debe estar sujeto a socavaciones ni a rellenos y debe estar libre de plantas acuáticas
5	Las orillas deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y deben estar libres de arbustos.
6	El sitio debe ser fácilmente accesible para facilitar la instalación y el funcionamiento de la estación de monitoreo.

Fuente: IDEAM, 2004.



3.6 Estrategia de rediseño

El rediseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos se hace tomando en cuenta todos los parámetros del apartado anterior y se plantea inicialmente desde una perspectiva espacial para posteriormente puntualizar la propuesta del nuevo sistema de monitoreo fijando nuevos puntos para monitorear variables sean meteorológicas o hidrológicas.

3.6.1 Monitoreo meteorológico

En el análisis espacial de la red de monitoreo meteorológico se trabaja sobre los aspectos contenidos en la estrategia citada a continuación.

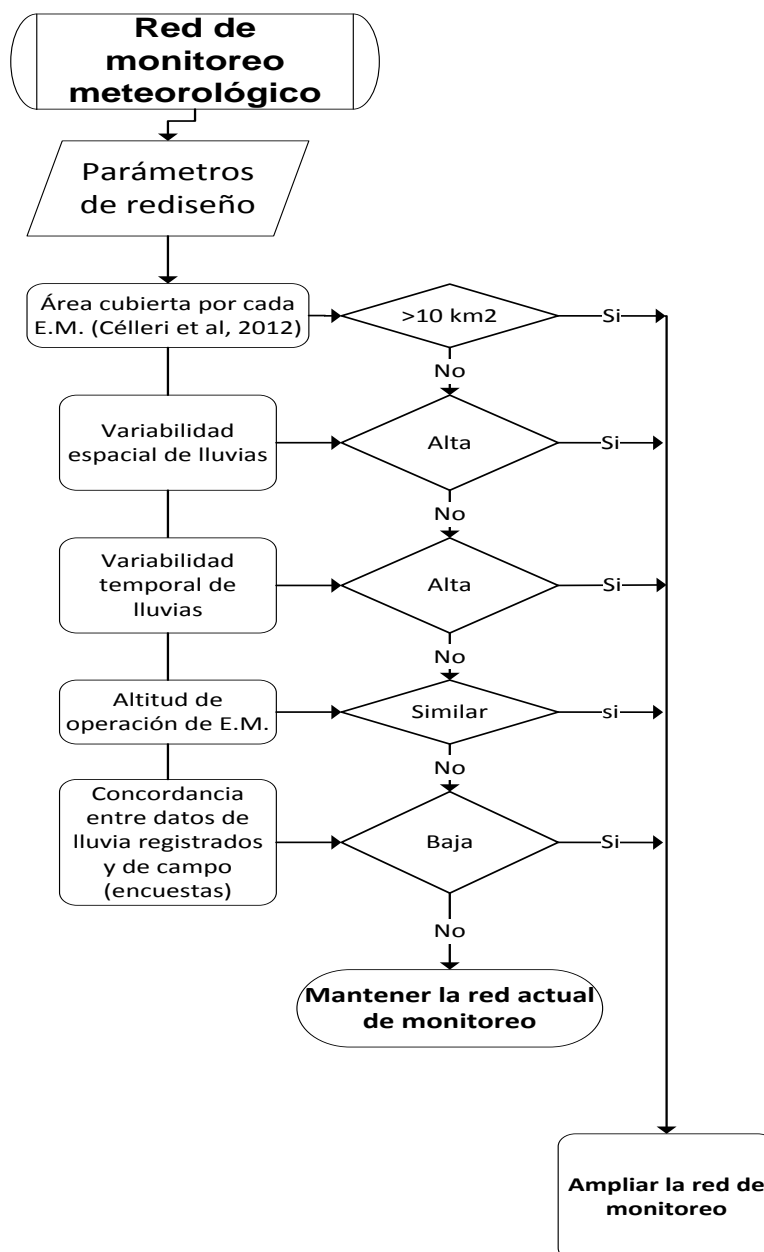


Figura 3.2: Diagrama para la toma de decisión de ampliar la red de monitoreo meteorológico.

Fuente y Elaboración: Autor, 2016.

Después de la toma de decisión respecto a la red de monitoreo, la selección de sitios para el emplazamiento de nuevos puntos de monitoreo meteorológico se realiza siguiendo un esquema en el cual se trabaja sobre tres aspectos: a) número de estaciones a ser instaladas b) sitios de monitoreo y c) tipo de estación a instalar. Aquí se toman en cuenta parámetros que se obtienen del análisis de la red actual de monitoreo y otros adicionales que se incorporan a la toma de decisión sobre el sitio de emplazamiento de nuevas estaciones de monitoreo y el tipo de estación a instalar.

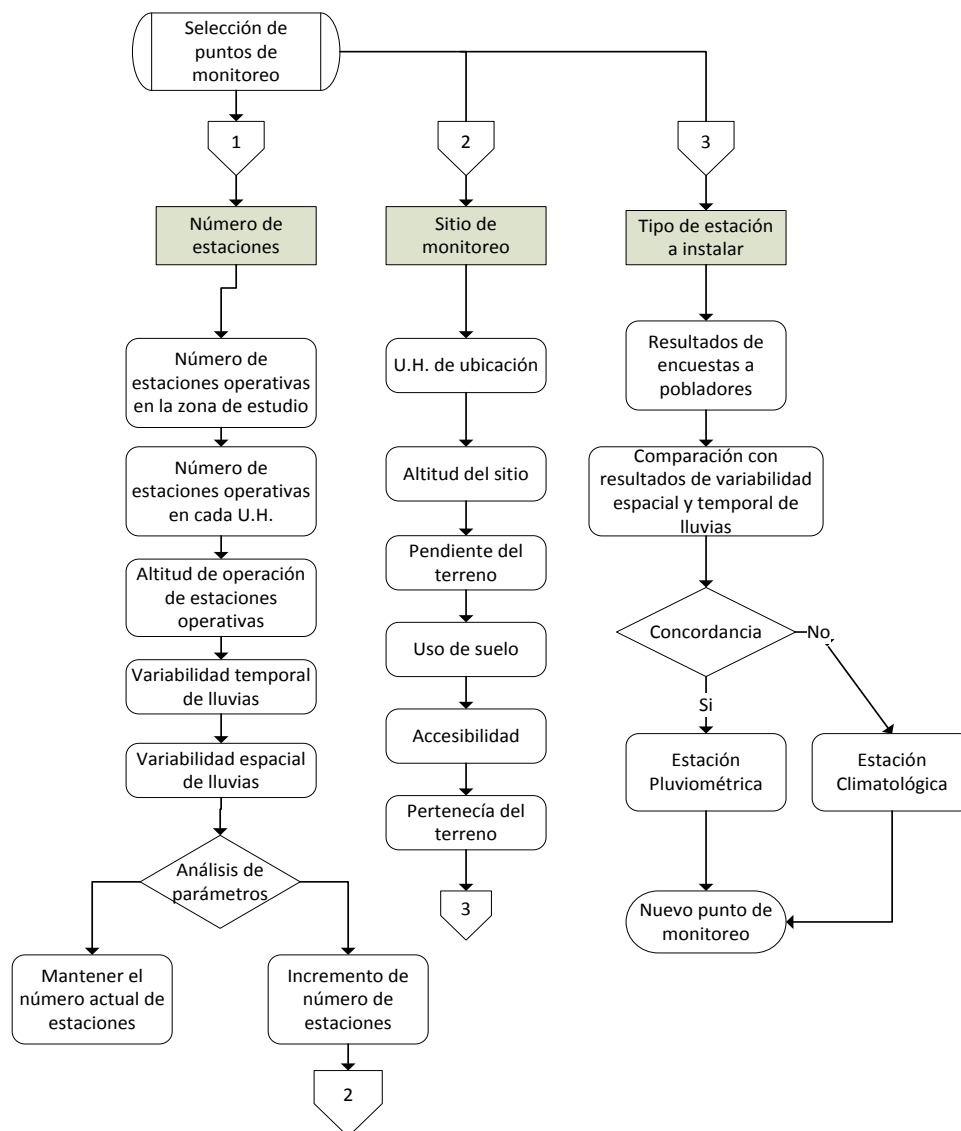


Figura 3.3: Diagrama para la selección de puntos de monitoreo meteorológico.
Fuente y Elaboración: Autor, 2016.

Tipo de estación a instalar, en esta sección se toma en cuenta los resultados de las encuestas realizadas a los pobladores, las cuales están dirigidas a obtener información en general sobre el clima de las diferentes micro-zonas en el área de estudio.



En la sección sitios de monitoreo se selecciona un lugar adecuado para el emplazamiento de equipos de monitoreo meteorológico, para lo cual se toma en cuenta la U.H. en la cual se instalará, la altitud es determinante ya que según ésta las condiciones climáticas varían de una altitud a otra. La pendiente influye en aspectos como la estabilidad del terreno, la accesibilidad al mismo y la seguridad para los equipos y para el personal. El uso del suelo en el sitio de emplazamiento y los alrededores de éste es importante ya que dependiendo de este aspecto la ubicación puede variar debido a la inferencia de éste en las mediciones de las variables. La pertenencia del sitio o el propietario de éste es importante ya que resulta más fácil y rápido trabajar en terrenos que pertenezcan a EMAPAL EP que en terrenos que pertenezcan a personas ajenas al proyecto. La variabilidad espacial y temporal de lluvias y el rango altitudinal en el que trabajan las estaciones es relevante para determinar el incremento de una o más estaciones de monitoreo, información que es contrastada con la obtenida tras la aplicación de encuestas sobre el clima en diferentes sitios del área de estudio.

3.6.2 Monitoreo hidrológico

La determinación de áreas potenciales para el monitoreo hidrológico procede tomando en cuenta factores sobre la demanda de agua (P.A.) y el área de cada una de las U.H. de la zona alta de la microcuenca. Se incluye en el análisis información de la red actual de monitoreo.

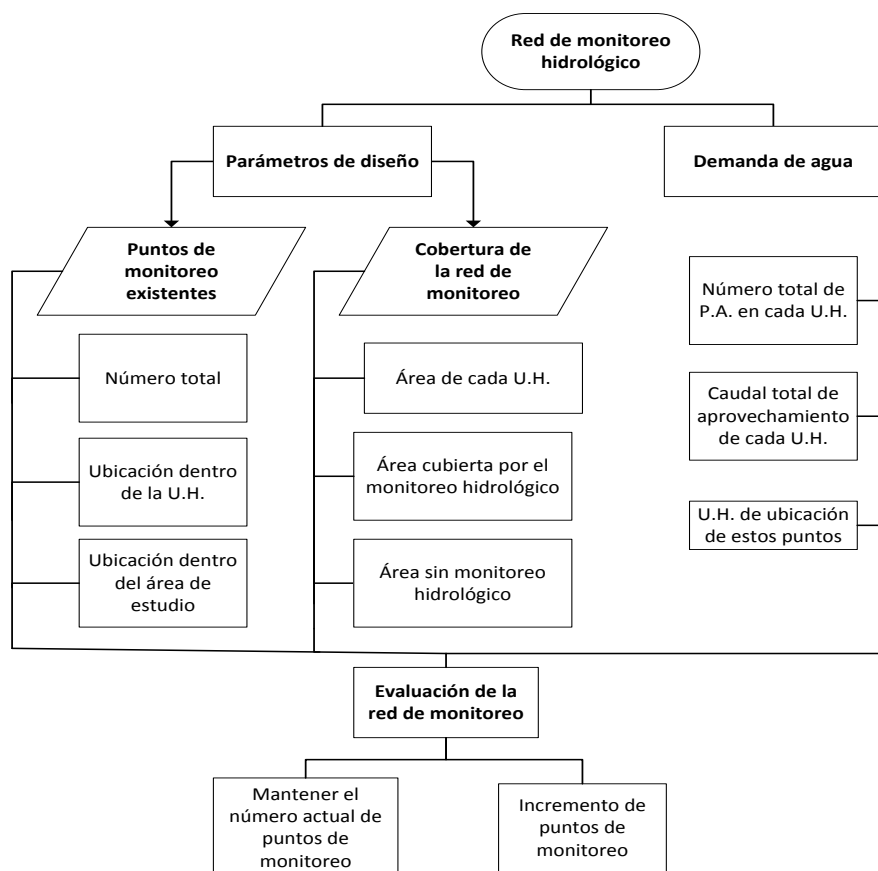


Figura 3.4: Diagrama para el diseño de red de monitoreo hidrológico.
Fuente y Elaboración: Autor, 2016.



La definición de puntos de monitoreo hidrológico se basa en el análisis de los aspectos citados en la Figura 3.4 ya que estos ofrecen una perspectiva sobre las condiciones de la zona y del trabajo de monitoreo actual.

Tras el análisis de todos los aspectos se proponen opciones y acciones para la estructuración de la red de monitoreo hidrológico de la zona alta de la microcuenca la cual recoja datos que muestren el comportamiento hidrológico de la zona. Para el caso de la selección de sitios para el establecimiento de nuevos puntos de monitoreo, éstos deberán ser sometidos a una valoración final tomando en cuenta los criterios citados en la Tabla 3.6 que contiene criterios específicos que se relacionan con las condiciones del cauce del río en el cual se realizará el monitoreo.

4. Resultados

4.1 Evaluación del actual sistema de monitoreo hidrometeorológico

4.1.1 Personal a cargo del monitoreo de la microcuenca del Tabacay.

Las respuestas a las preguntas de la encuesta aplicada se adjuntan como Anexo 4. La encuesta se aplicó a las personas al frente del actual sistema de monitoreo de RR.HH. de la microcuenca del Tabacay las cuales son dos.

Tabla 4.1: Resultados de la aplicación de encuesta a personal de EMAPAL.

Sección de la encuesta	Resultados	Observaciones
Conocimientos en hidrología y meteorología	Esta sección se evaluó en una escala de conocimiento de 1 a 5 donde 1 es nulo y 5 es vasto, de acuerdo a esto el conocimiento en promedio del personal a cargo del monitoreo sobre los temas tratados en esta sección es 3 o BUENO .	Los conocimientos son correctos, pero no son suficientes para lograr el objetivo y fin del monitoreo.
Monitoreo hidrometeorológico	El objetivo y fin del monitoreo son factibles, pero a largo plazo. El monitoreo y actividades complementarias para llevarlo a cabo son insuficientes para alcanzar un trabajo que brinde los resultados planteados en principio.	Para la consecución del objetivo y el fin del monitoreo se deben hacer modificaciones a los procesos que se siguen en el actual trabajo de monitoreo. Para que el sistema de monitoreo funcione correctamente es necesario que quien está a cargo de éste lo conozca profundamente...



	<p>Parte de los aspectos sobre cómo se estructuró el sistema de monitoreo para funcionar como lo hace en la actualidad se desconocen por quienes están al frente de la realización de esta labor.</p> <p>En opinión del personal a cargo del monitoreo se reportan series de datos con información confiable y libres de problemas.</p>	<p>...desde todos sus puntos de vista para así detectar falencias y mejorarlo continuamente.</p> <p>Las series de datos con las que se cuenta presentan problemas de vacíos de información en dos puntos de monitoreo uno de ellos meteorológico y otro hidrológico.</p>
Operación y mantenimiento	<p>Se cuenta con un sistema de monitoreo que opera desde 2009, pero lo hace desde 2010 de manera permanente, el cual muestra interrupciones en los registros por varias razones.</p> <p>No se siguen protocolos de ningún tipo en la generación de datos ni para la calibración de equipos.</p> <p>El personal al frente no es el suficiente para operar y mantener el sistema.</p>	<p>La no aplicación de protocolos para la generación de datos en cualquiera de sus etapas es una de las causas para los problemas detectados en las series de datos.</p> <p>La no calibración de equipos es también una causa para la pérdida de calidad en los datos.</p>
Determinación de parámetros hidrológicos	<p>No se ha determinado ningún parámetro a partir de los datos recolectados sea para validarlos o para aplicaciones futuras de los mismos.</p>	<p>La no determinación de parámetros es una consecuencia de que el personal a cargo del monitoreo y manejo de los datos no posee conocimiento sobre cómo determinar estos parámetros.</p>
Productos del monitoreo realizado	<p>El único producto obtenido es la base de datos hidrometeorológicos de la microcuenca del Tabacay. La obtención de otros productos no se da por razones como falta de datos y conocimiento en áreas específicas y falta de experiencia del personal a cargo.</p>	<p>La generación de productos de monitoreo más desarrollados no sé da porque la cantidad de datos aún no es la suficiente, pero se puede trabajar con los datos actuales aplicando métodos para validarlos y técnicas para relleno de vacíos de información.</p>

Fuente: Autor, 2016.



Al final de cada uno de los temas de evaluación se incluyó la pregunta “¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?” para la cual las respuestas fueron afirmativas en cada tema.

La aplicación de la encuesta deja como conclusión que los procesos aplicados sean estos en manejo de datos, determinación de parámetros hidrometeorológicos, mantenimiento de la red de monitoreo y aspectos como personal a cargo de ésta, conocimientos relacionados al procesamiento y aprovechamiento de datos y procedimientos para la generación de información son inexistentes y necesitan ser creados y puestos en orden para comenzar a obtener resultados concluyentes y reales para alcanzar las aspiraciones que EMAPAL EP se ha trazado en cuanto al monitoreo que se realiza dentro de la microcuenca del Tabacay.

4.1.2 Series de datos

Se reporta un total de 4 estaciones de monitoreo, tres meteorológicas y una hidrológica, éstas se encuentran operativas (Figura 4.1).

Tabla 4.2: Estaciones de monitoreo operativas en la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.

Tipo estación	UTMx (m)	UTMy (m)	Cota (ms nm)	U. H. de ubicación	Período de registro de datos	Estado de los datos
Pluviométrica	744400	9702146	2980	Llaucay	Dic 2013 - Dic 2015	Completos
Climatológica	746461	9705416	3231	Nudpud	Oct 2010 – Dic 2015	Incompletos
Pluviométrica	741649	9704711	2905	Condoryacu	Ene 2010 – Dic 2015	Completos
Hidrológica	741171	9703084	2766	Rubíes	Mayo 2011 – Dic 2015	Incompletos

Fuente: EMAPAL EP, 2016

El período de tiempo de registro de datos se expresa hasta el último mes considerado para este estudio, naturalmente las estaciones están trabajando hasta la fecha recolectando datos. Las estaciones Llaucay y Condoryacu registran datos de precipitación y lo han hecho sin ninguna interrupción a escala diaria dentro del período Ene-2014 a Dic-2015. Por otro lado, la estación Nudpud registra un mayor número de variables, pero presenta varios vacíos de información los cuales comprometen la calidad de los datos dentro del mismo período. Finalmente, la estación hidrológica Rubíes reportada dos variables, ésta también presenta vacíos en su línea de tiempo de registro de datos.



Tabla 4.3: Variables registradas y detalle de vacíos de información en las estaciones Nudpud y Rubíes a escala diaria.

Estación Climatológica Nudpud	
Variables registradas	Períodos sin información
Precipitación (mm)	1) 14/05/2011 hasta 18/05/2011
Temperatura, máxima y mínima (°C)	2) 20/10/1012 hasta 23/10/2012
Punto de rocío (°C)	3) 14/02/2013 hasta 20/05/2013 *
Humedad relativa, máxima y mínima (%)	4) 12/12/2014 hasta 31/12/2014 (precipitación)
Radiación solar (W/m ²)	5) 01/01/2015 hasta 11/03/2015 (precipitación) *
Presión atmosférica (mmHg)	6) 23/05/2015 hasta 06/06/2015
Velocidad del viento (m/s)	7) 13/12/2015 hasta 31/12/2015 (precipitación)
Velocidad de ráfaga (m/s)	
Estación hidrológica Rubíes	
Variables registradas	Períodos sin información
Caudal (lit/seg)	1) 12/11/2011 hasta 13/11/2011
	2) 14/01/2012 hasta 23/02/2012 *
	3) 02/03/2012 hasta 31/12/2012 *
	4) 01/01/2013 hasta 31/12/2013 *
	5) 01/01/2014 hasta 20/03/2014 *
Sedimentos (g/lit)	-----

Elaboración: Autor, 2016.

Se observa que los datos de estas dos estaciones presentan gran cantidad de vacíos de información con una amplitud considerable en algunos casos (*) y en otros casos éstos se presentan únicamente para la variable precipitación. Un ejemplo son el caso número 3 en la estación Nudpud y los casos 3 y 4 en la estación Rubíes que representan alrededor de 3 meses y 2 años de datos faltantes. Estos problemas se encuentran distribuidos a lo largo de toda la línea de tiempo de registro de datos que presenta cada estación lo que compromete seriamente la utilidad de los datos. Para la estación Nudpud en los casos 1 y 2 que presentan 5 y 4 días de vacíos se detectó que los datos faltantes de precipitación fueron rellenados tomando datos de la estación Condoryacu como base. Por otro lado, en el caso de la estación Rubíes la variable sedimentos presenta únicamente dos días de registro (21 y 22 de julio de 2011) lo que deja estos datos sin validez.

Los vacíos detectados en las series de datos son un problema porque éstos comprometen no solo la utilidad y calidad de éstos, sino que también dejan en discusión los procedimientos usados para su generación y la capacidad del personal a cargo del monitoreo para hacer frente a hechos que detienen parcialmente el funcionamiento de la red de monitoreo hidrometeorológico.



4.1.3 Monitoreo Meteorológico

Los equipos con los que cuenta la red de monitoreo son tres, de éstos, dos registran datos de precipitación y el último registra un sin número de variables climatológicas. Se encuentran operativos en tres distintas U.H., en Condoryacu y Llaucay operan pluviómetros mientras que en Nudpud hallamos una estación climatológica. Después de hacer un recorrido en campo, en conjunto con una de las personas a cargo de la red de monitoreo, se encontraron los siguientes problemas: 1) la estación Condoryacu no reportó ningún dato para el período agosto 2016 ya que al momento de la descarga de datos en el software no se visualizaron datos registrados. 2) en el mes de agosto de 2016, en la estación Nudpud que transmite inalámbricamente los datos registrados desde la estación hasta una consola ubicada a 30 metros, se encontró que la consola presentaba baterías agotadas lo cual indica que hay datos que no se guardaron después de su medición y que posiblemente se perdieron debido a que el tiempo operativo de las baterías ha venido disminuyendo con el pasar del tiempo a pesar de que éstas son reemplazadas con antelación. Por esta razón la estación climatológica fue removida para su revisión. Los equipos de monitoreo meteorológico son manejados por el departamento de gestión ambiental de EMAPAL EP con asesoría del PROMAS de la universidad de Cuenca, quienes prestan asistencia en situaciones de desperfectos y mal funcionamiento en los equipos y en el manejo de software tanto para descarga y pre-procesamiento de datos.

Se verificó que las estructuras dentro de las cuales se alojan los equipos y estaciones brinden las condiciones adecuadas para la medición de las diferentes variables meteorológicas y se determinó que en los tres casos los equipos están emplazados en sitios abiertos en donde no hay intervención de elementos del medio sobre las mediciones. Las estructuras que sirven de resguardo para los equipos cumplen satisfactoriamente su función protegiendo a éstos de elementos como personas ajenas a EMAPAL, animales y otras condiciones que se pueden dar en el campo, evidencia fotográfica de los equipos se adjunta como Anexo 5.

Durante el recorrido en campo se corroboraron los resultados de las encuestas realizadas a las personas encargadas del manejo del sistema de monitoreo hidrometeorológico del Tabacay, donde se adquirió información que revela que no se siguen protocolos definidos para la generación de datos. La falta de procedimientos documentados seguramente se materializó con lo sucedido en el pluviómetro de Condoryacu, por su parte, lo sucedido con la estación Nudpud es un hecho fortuito, pero se deben tomar las precauciones necesarias para evitar que los equipos dejen de funcionar por cuestiones que se pueden prever. Finalmente, los problemas dados en cuanto a la red de monitoreo meteorológico revelan que ésta no opera como se espera por razones que se deben minimizar hasta suprimirlas para evitar la pérdida de datos y la consecuente disminución de la calidad de las series de datos meteorológicos.



4.1.4 Monitoreo Hidrológico

Los equipos con los que se cuentan para el monitoreo hidrológico son cinco en total, de los cuales tres son estaciones de muestreo y medición ISCO, los dos restantes son transductores de presión. De éstos, únicamente los dos últimos están operativos y se ubican en Rubíes donde registran presión barométrica y presión de la columna de agua que corre a través de un aforador trapezoidal construido para la medición de caudales a través de la aplicación de una ecuación de gasto o de aforo diseñada exclusivamente para las condiciones del sitio. Los equipos restantes, tres estaciones ISCO capaces de medir caudales y sólidos en suspensión de manera continua, se encuentran alojados en la planta de potabilización de Mahuarcay.

Las estructuras con las que se cuenta para la medición de caudales son 1) un aforador trapezoidal de flujo súper crítico ubicado en la estación Rubíes donde al momento trabajan los transductores de presión y 2) un aforador rectangular de flujo súper crítico San Dimas el cual se encuentra inoperativo, estas dos estructuras se construyeron para la toma de datos a través de estaciones ISCO las cuales se removieron debido a la complejidad de mantener en funcionamiento estos equipos, por razones como la demanda de tiempo que reclama el uso de estas estaciones, por razones operativas y por la seguridad de las mismas, evidencia fotográfica de los equipos y estructuras para monitoreo hidrológico se adjunta como Anexo 6.

El recorrido en campo reveló que para la descarga de este tipo de datos la persona a cargo de este trabajo hace el uso de un procedimiento en video el cual ayuda en el proceso de descarga de información de los transductores de presión.

Las mediciones en la estación Rubíes recogen datos sobre las contribuciones hídricas aguas arriba de las U.H. Llaucay y Nudpud, esto indica que el monitoreo hidrológico se realiza en una parte de la zona de estudio y a futuro debe enfocarse sobre las U.H. que no se están monitoreando especialmente en Condoryacu-Rosario.

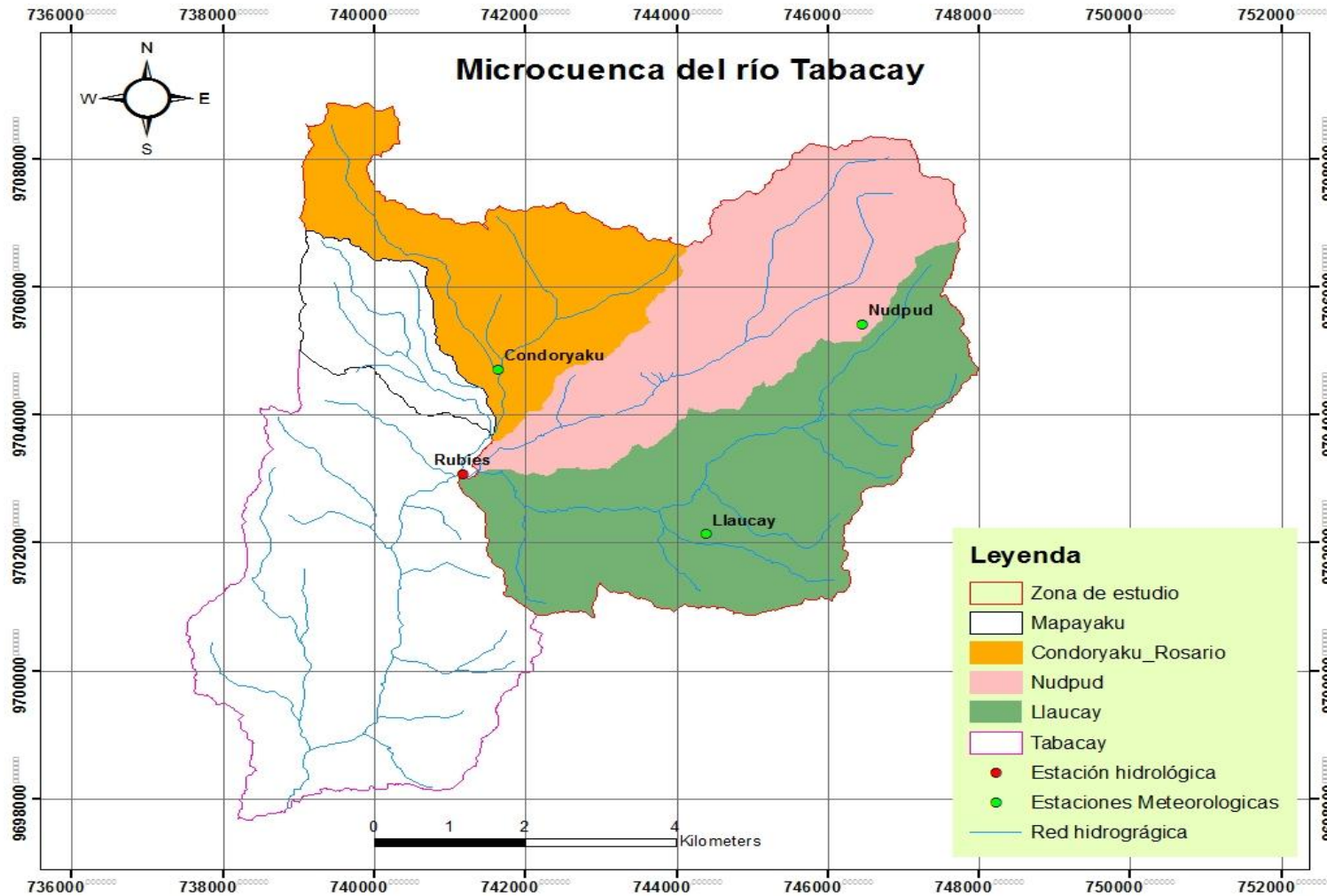


Figura 4.1: Zona alta de la microcuenca del río Tabacay y red de monitoreo hidrometeorológico actual.
Elaboración: Autor, 2016.



4.2 Información cartográfica

Se delimitó las U.H. de la zona para la determinación de parámetros de superficie de cada una con el fin de caracterizarlas para el posterior uso de esta información en el rediseño del sistema de monitoreo de recursos hídricos.

Tabla 4.4: Parámetros de superficie de la zona de estudio y de sus U.H.

Zona	Área (km ²)	Cota max. (msnm)	Cota min. (msnm)	Rango altitudinal (m)
Zona de estudio	45.35	3740	2760	980
U.H. Mapayacu	4.09	3710	2820	890
U.H. Condoryacu-Rosario	10.18	3720	2820	900
U.H. Nudpud	13.65	3740	2770	970
U.H. Llaucay	17.41	3530	2760	770

Elaboración: Autor, 2016.

4.2.1 Pendientes

Se realizó un mapa de pendientes que incluye los predios que EMAPAL EP ha adquirido con fines de conservación. En el mapa se clasifican las pendientes en rangos de 0 a 5 %, 5 a 10 %, 10 a 20%, 20 a 40 % y >40% (Suarez, 2012), datos que se usan para la caracterización y definición de parámetros para la ubicación de nuevas estaciones de monitoreo en sitios en los que a la actualidad no se hace este trabajo. El mapa se ilustra a continuación.

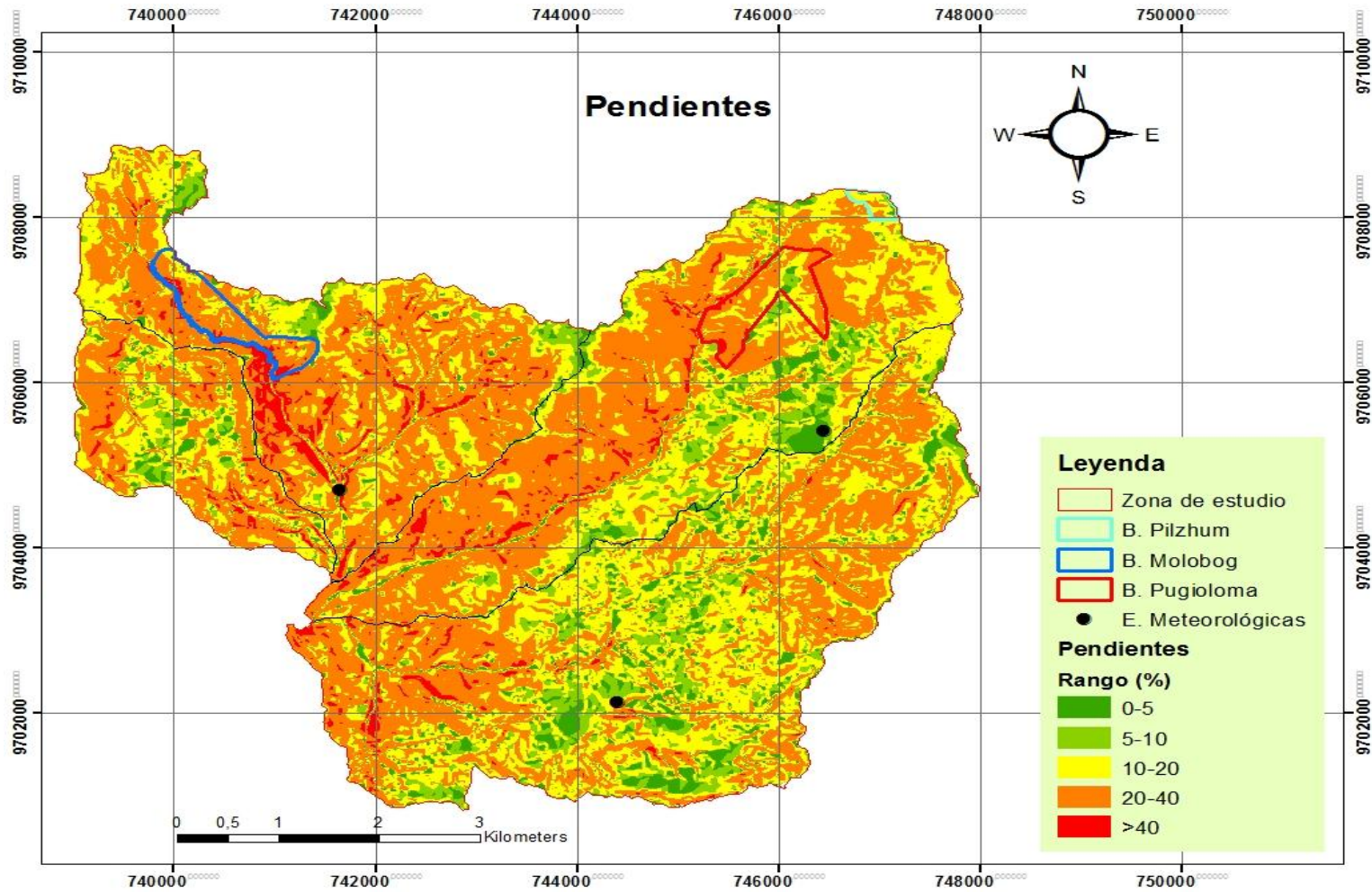


Figura 4.2: Clasificación de pendientes para la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.
Fuente: Autor, 2016.



Se observa mayor presencia de sitios con inclinaciones de 20 a 40 % lo que corresponde a taludes según la clasificación que se usó, en tanto que los terrenos con pendientes entre 10 y 20 % que corresponden a rampas aparecen en segundo lugar, por otro lado, sitios con pendientes mayores a 40 % o terrenos escarpados también tienen presencia pero en menor medida en comparación con los rangos antes citados corroborando que la mayor parte de la zona de estudio presenta terrenos con inclinaciones de una zona montañosa; los sitios con pendientes entre 0 a 10 % se presentan distribuidas a lo largo y ancho de toda la zona alta de la microcuenca, pero con mayor presencia en las quebradas Llaucay y Nudpud.

Tabla 4.5: Valores de pendientes para la zona de estudio.

Rango	Clasificación	Área (km ²)	Porcentaje
0-5	Llanura	2.88	6.35
5-10	Llanura inclinada	4.19	9.24
10-20	Rampa	14.58	32.15
20-40	Talud	22.13	48.80
>40	Terreno escarpado	1.57	3.46
	Total	45.35	100.00

Fuente: Autor, 2016.

Terrenos con pendientes de 0-5 y 5-10 % es donde han sido instaladas todas las estaciones de monitoreo meteorológico que están operando al momento.

4.2.2 Uso de suelo

Se creó un total de 3161 puntos de control de los cuales 97 corresponden a páramo, 1044 a bosque primario, 1120 a bosque secundario, 546 a zonas pastoriles, 312 a zonas de suelo descubierto y 42 a cuerpos de agua. Esta disparidad en las cantidades de puntos de control se da por la distribución fragmentada de cada una de las clases superficiales dentro de la zona de estudio según las ortofotografías usadas. En la diferenciación de uso de suelo y cobertura vegetal se incluyeron los predios adquiridos por EMAPAL EP con fines de conservación que son Molovog y Pugioloma conjuntamente con Pilzhum que se ubican dentro de las U.H. Condoryacu y Llaucay respectivamente.

Las combinaciones de bandas espectrales de falso color y color real usadas para la ubicación de los puntos de control se especifican en la Tabla 4.6 y el mapa se ilustra a continuación.

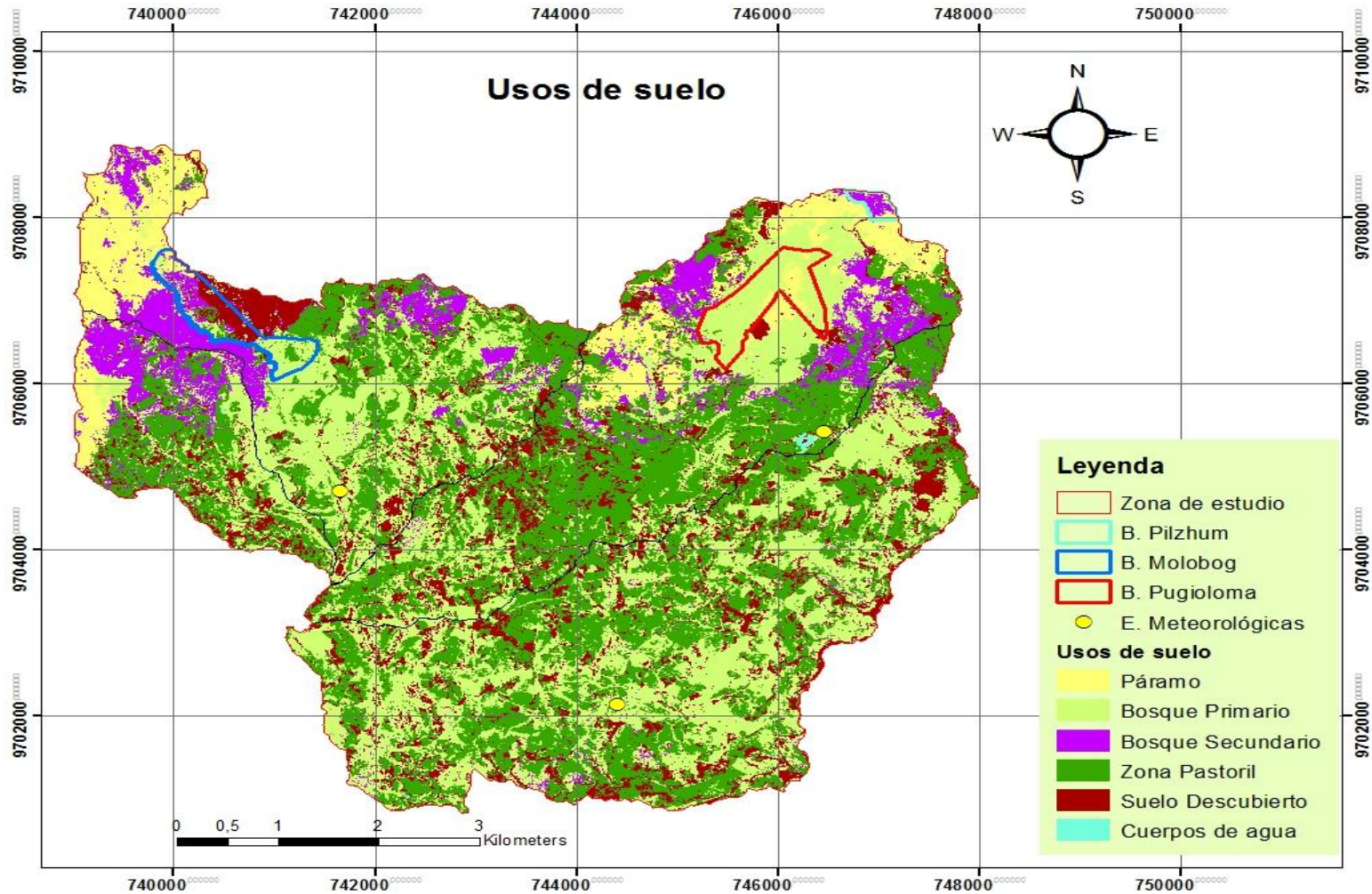


Figura 4.3: Mapa de usos de suelo de la zona alta de la microcuenca del río Tabacay.
Fuente: Autor, 2016.



La clasificación realizada revela una distribución irregular de cada una de las clases superficiales en la zona de estudio, esto resulta en la fragmentación de coberturas vegetales propias como bosque primario o páramo; este último se ubica únicamente en los sitios más altos de la zona de estudio (sobre los 3400 msnm), en tanto que zonas de bosque primario están distribuidas por toda la zona de estudio a modo de parches que se mezclan con las zonas pastoriles y suelo descubierto.

Estudios realizados sobre zonas de páramo alteradas muestran que hay un incremento del coeficiente de escorrentía de un 10-15% a un 30-50% para áreas alteradas de pajonal (Céleri & Feyen, 2009), hecho que podría estar dándose pero que no se registra debido al actual trabajo de monitoreo. De otro lado, dentro de las áreas que pertenecen a EMAPAL EP hay presencia de bosque primario y mayoritariamente de páramo en Pugioloma, en Molovog se observa una variedad de usos de suelo (bosque primario y secundario, suelo descubierto y pequeñas áreas de paramo).

Tabla 4.6: Usos de suelo y cobertura vegetal en la zona alta de la microcuenca del Tabacay.

	Clase superficial	Combinación de bandas usada	Área (Km²)	Porcentaje
1	Páramo	1,4,4	4.21	9.28
2	Bosque primario	4,2,3	15.42	34.00
3	Bosque secundario	4,2,3	3.53	7.78
4	Zonas pastoriles	1,2,3	16.28	35.90
5	Suelo descubierto	1,2,3	5.87	12.94
6	Cuerpos de agua	4,4,3	0.04	0.09
	Total		45.35	100.00

Fuente: Autor, 2016.

La clase superficial que presenta mayor presencia es la de zonas pastoriles (35,58%), seguida por la de bosque primario (34,60%), en tanto que las zonas de páramo solo presentan un 10% de presencia dentro de la zona de estudio.

4.2.3 Carreteras (red vial)

La red vial dentro de la zona de estudio llega a todos los sitios de los que se compone la zona alta del Tabacay, aunque de manera desordenada, esto indica que las condiciones de accesibilidad y movilidad son adecuadas.

4.3 Evaluación de datos de precipitación y demanda de agua

4.3.1 Datos de precipitación

La revisión de datos de las estaciones reveló series de datos completas a escala diaria para las estaciones Condoryacu y Llaucay durante los años 2014 y 2015, mientras que, para la estación Nudpud se encontró ausencia de datos en varios



períodos de tiempo a lo largo del año 2015 y en un corto espacio de tiempo durante el mes de diciembre del año 2014.

Tabla 4.7: Resultados de revisión de datos de precipitación.

Estación	P. ene-nov 2014 (mm)	P. ene-nov 2015 (mm)	Estado de datos
Condoryacu	909.32	985,01	Completos
Llaucay	789.68	788,67	Completos
Nudpud	870.80	-----	Incompletos
Datos faltantes estación Nudpud			
Año	Meses	Día sin registros	Datos faltantes (%)
2014	Diciembre	20	5.74
2015	Ene-feb-marzo-mayo-junio-dic	105	28.49

Elaboración: Autor, 2016.

El estado de los datos para las estaciones Condoryacu y Llaucay posibilita su evaluación para los años 2014 y 2015; en la estación Nudpud el gran número de vacíos de información a lo largo del año 2015 imposibilita el uso de los datos para este año. Los datos faltantes en la estación Nudpud representan un porcentaje de 5,47% para el año 2014 y un 28.49% de datos faltantes para el año 2015, estos porcentajes en el primer caso imposibilitan el uso de datos de diciembre para 2014, por esta razón se usan únicamente los datos correspondientes a Ene-Nov de 2014 para delinear la variabilidad de lluvias en ese año en todas las estaciones, en tanto que para el segundo caso (28.49%), el porcentaje de ausencia de datos es amplio y los vacíos están distribuidos en diferentes puntos de la línea de tiempo de registro de datos lo que da resultados errados respecto a la dinámica de las lluvias en el sitio puntual de monitoreo, por esto se descartan los datos del año 2015 en la estación Nudpud para delinear la variabilidad espacial y temporal de lluvias en la zona de estudio.

4.3.1.1 Variabilidad temporal

En las Figuras 4.4 y 4.5 se muestra el comportamiento de las lluvias para los períodos Ene-Nov de 2014 para las tres estaciones de monitoreo y 2015 para las estaciones Condoryacu y Llaucay expresado como precipitaciones mensuales acumuladas. El análisis de los datos muestra que la variabilidad temporal está más marcada en los datos registrados en Llaucay, mostrando dos períodos lluviosos durante los meses de marzo a mayo en 2014 el cual se extiende hasta julio en 2015, mientras que el otro se ubica en el mes de octubre en 2014, resultados similares reporta Buytaert et al., (2006) al evaluar datos pluviométricos de 14 estaciones de la cuenca del Paute a la cual el Tabacay pertenece donde determina dos estaciones lluviosas una de mayo a julio y otra en el mes de noviembre. Por otro lado, se registra una disminución de lluvias durante los meses de febrero, agosto y septiembre mostrando las cantidades



más bajas de precipitación registradas representando esta la época de menor lluvia en los períodos de tiempo evaluados.

En Condoryacu, se observa un comportamiento igual en cuanto a las estaciones lluviosas, el cual inicia en marzo con la diferencia que ésta se manifiesta hasta julio en 2014, mientras que octubre representa un pico de lluvia para el mismo año. La estación de menor lluvia inicia en agosto y se extiende hasta septiembre, adicional a esto se determina que los meses de febrero y noviembre presentan bajos registros de lluvia en comparación a meses anteriores a éstos.

En Nudpud los datos disponibles muestran que la estación lluviosa está ubicada durante los meses de marzo a julio y se observa meses lluviosos aislados que son octubre y enero. Respecto a los meses menos lluviosos se nota que estos son febrero, agosto, septiembre y noviembre.

Se observa que la zona alta del Tabacay presenta lluvias en la totalidad del año, período en el cual se registra un comportamiento oscilatorio de éstas con estaciones lluviosas extendidas de hasta cinco meses como máximo y de tres como mínimo, también hay meses picos de lluvia que se presentan entre meses de precipitaciones bajas. De esta manera la variabilidad temporal de lluvias en la zona de estudio es escasa para 2014 ya que las estaciones lluviosas y de menor lluvia son prácticamente las mismas ubicándose de **marzo a mayo** (hasta julio para el caso de Condoryacu y Nudpud) y de **agosto a septiembre**, por otro lado, se presentan meses lluviosos como **enero y octubre** y meses en los que la lluvia disminuye notablemente respecto a meses cercanos como **febrero y noviembre**. En el caso de 2015 los datos muestran un comportamiento un tanto diferente, mostrando un patrón que se repite en las estaciones y que consiste en uno o dos meses de lluvia seguidos de otro período de tiempo similar en el que la lluvia decrece para luego entrar en otro período de precipitaciones altas. **Febrero** es el mes de menor lluvia seguido de **marzo** que es donde inicia la época lluviosa. En conclusión, la variabilidad temporal para cada año por separado es escasa, pero ésta se manifiesta de manera característica para cada año en particular teniendo en común su punto de partida. Este patrón de estacionalidad se puede catalogar como bimodal debido a las inflexiones que presentan los datos de lluvia registrados (Buytaert et al., 2006).

4.3.1.2 Variabilidad espacial

La variabilidad espacial de las precipitaciones se delinea a partir de la precipitación de enero a noviembre de los años 2014 y 2015 registrada en cada punto de monitoreo (Tabla 4.7). La comparación de los valores anuales de lluvia para el año 2014 muestra que la precipitación se reduce de Oeste a Este ya que en Condoryacu para 2014 hay 909,32 mm en tanto que para el mismo año en Nudpud se registra 870,8 mm y para Llaucay hay 789,68 mm, esto se repite con los datos de 2015 en el mismo período de tiempo donde en Condoryacu llovió 985,01mm y en Llaucay llovió 788,67mm. Esto indica que espacialmente las



precipitaciones anuales son mayores en Condoryacu y van disminuyendo longitudinalmente conforme se avanza a Nudpud y Llaucay.

Latitudinalmente, las precipitaciones anuales se muestran similares entre Condoryacu y Nudpud para el año 2014 (326 m de variación altitudinal), y respecto a Llaucay (75 m de variación altitudinal) son diferentes para el año 2014 y 2015 de acuerdo a los valores antes expuestos; las altitudes a las que se encuentran las estaciones son Condoryacu 2905 m, Nudpud a 3231 m y Llaucay 2980 m. Según Céleri et al., (2007) la variabilidad espacial anual de precipitaciones en la cuenca del Paute es altamente heterogénea.

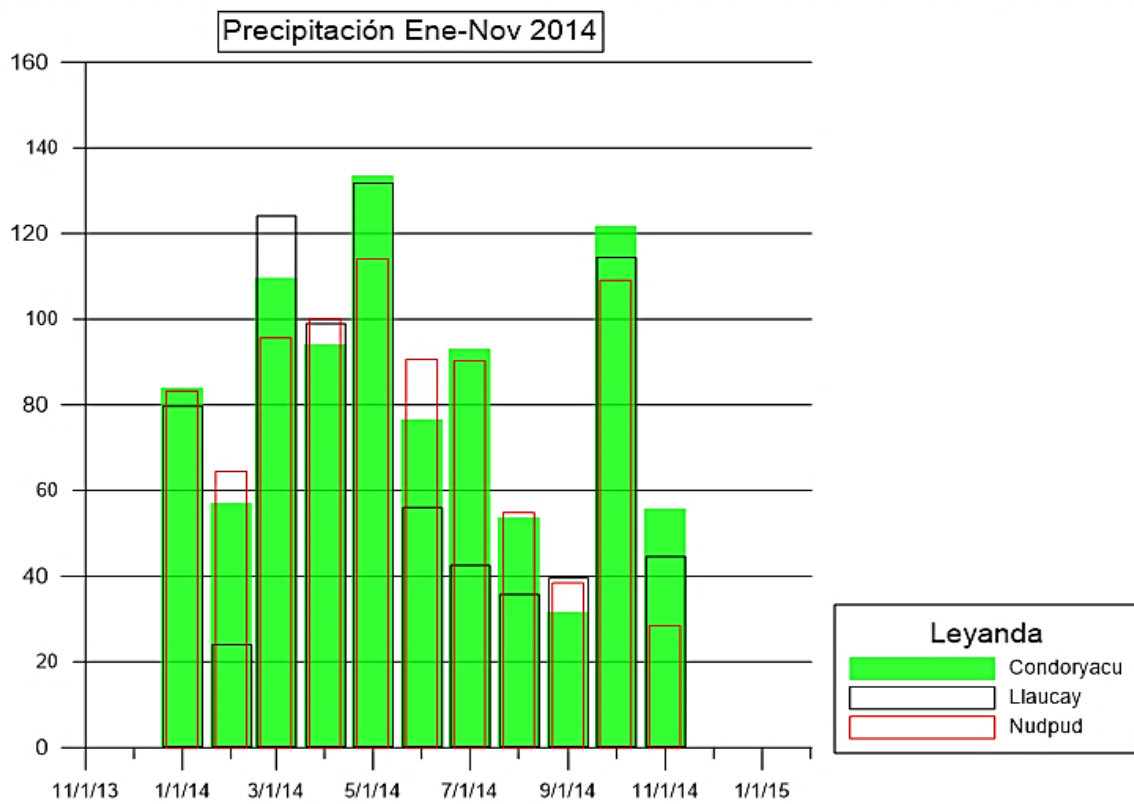


Figura 4.4: Comportamiento de lluvias para tres puntos de monitoreo meteorológico para 2014.

Elaboración: Autor, 2016.

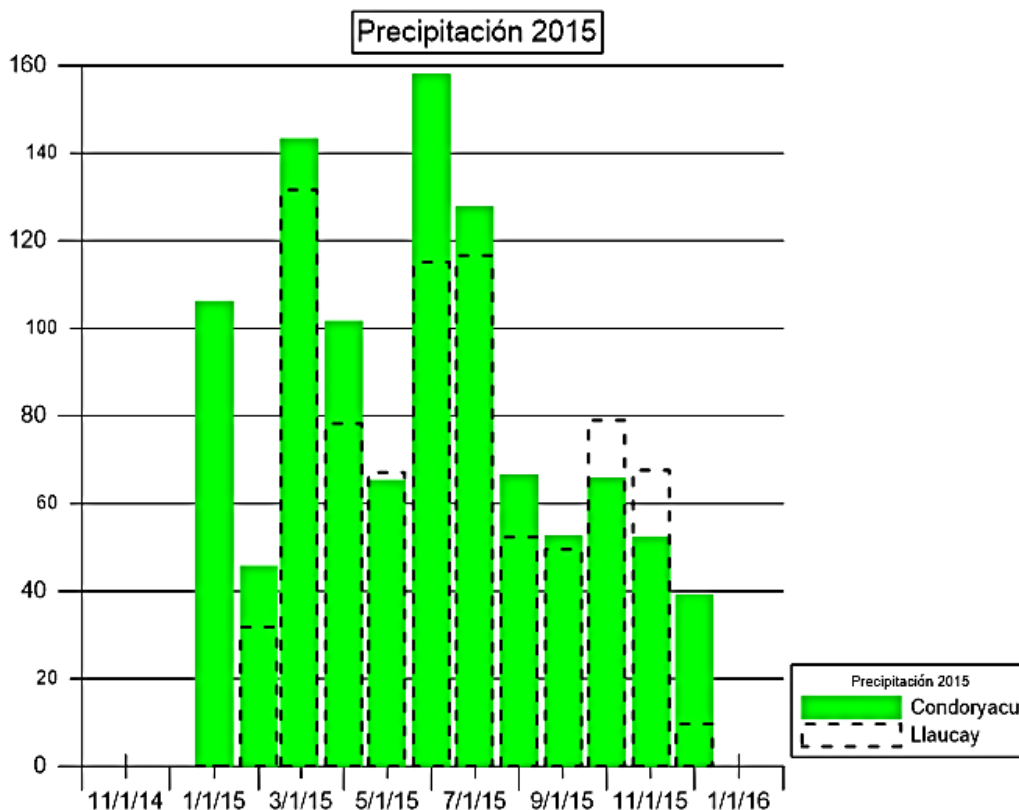


Figura 4.5: Comportamiento de lluvias para dos puntos de monitoreo meteorológico para 2015.

Elaboración: Autor, 2016.

Para el caso de las precipitaciones mensuales acumuladas, se observa en la Figura 4.4 que únicamente en cuatro meses de 2014 las precipitaciones son similares para los tres puntos de monitoreo, los meses restantes presentan similitud entre Nudpud y Condoryacu únicamente, en tanto que Llaucay presenta un comportamiento diferente. Un comportamiento mensual de lluvias más disparejo se observa en la Figura 4.5 donde se comparan los datos de Condoryacu y Llaucay.

La variabilidad espacial de lluvias a escala mensual se muestra baja para Condoryacu y Nudpud ya que las cantidades acumuladas mensuales de lluvia son similares en gran parte del período enero-noviembre de 2014, en tanto que al hacer la comparación con los datos de Llaucay las diferencias son mucho mayores en gran parte de meses de 2014 y 2015, esto indica que la variabilidad espacial es mayor en Llaucay y se reduce en Nudpud tomando como punto de referencia Condoryacu. A pequeña escala la topografía de la zona es responsable en parte de esta variabilidad en las lluvias (Célleri et al., 2009). Naturalmente el análisis realizado no es totalmente concluyente debido al periodo de tiempo con el que se trabajó, pero da una apreciación sobre el comportamiento de las lluvias en la zona de estudio.



4.3.2 Información sobre dinámica de precipitaciones y clima brindada por pobladores de la zona.

Se aplicó un total de 9 encuestas a pobladores de la zona que viven alejados de los puntos de monitoreo existentes, sobre todo en los sectores más altos de la zona de estudio, estas personas se localizan dentro del rango altitudinal de 3258 a 3489 msnm, ubicándose en las U.H. Rosario y Nudpud. Las respuestas obtenidas en promedio se adjuntan como Anexo 7. Las encuestas se aplicaron en Mirapamba y Rosario. El tiempo que los encuestados han vivido en la zona (23 años en promedio) es un factor que da la validez a las respuestas obtenidas. Se geo-referenció los sitios en los que los encuestados viven con el fin de ubicarlos espacialmente dentro de la microcuenca (Figura 4.6).

La temporada lluviosa y de menor lluvia son similares a las determinadas en la evaluación de los datos de precipitación, con una variación en el mes de enero el cual según los resultados se ubica en la temporada de menor lluvia. De esta forma las temporadas de lluvia se ubican en los meses que van desde **marzo a julio y octubre y noviembre**, en tanto que los meses de menor pluviosidad son **agosto, septiembre** y el período de **diciembre a febrero**. Resultados similares se obtuvieron por Buytaert et al., (2006), donde las estaciones secas se ubican desde agosto hasta parte de octubre y de diciembre a febrero después de analizar datos de pluviómetros en la cuenca del Paute.

Por otro lado, el cambio en la dinámica de las lluvias es un tema que se evaluó y que los encuestados creen que ha sufrido cambios en comparación con años anteriores, el cual se materializa con el desplazamiento de temporales, es decir incremento de tiempos de lluvia y endurecimiento de tiempos de sequía. Respecto a la variación latitudinal del clima, las personas toman la temperatura y las precipitaciones como referencia para decir que éste varía considerablemente en comparación con zonas más bajas dentro de la microcuenca del Tabacay teniendo en los sitios donde habitan mayores precipitaciones y menores temperaturas. La variación de la temperatura en un rango altitudinal de 2600 a 4200 msnm puede llegar a 6.9 °C/Km (Córdova et al., 2016). Las personas hacen comparaciones con San Antonio (poblado ubicado a 1 km aprox. de rubíes) y los sitios en los que viven.

La lluvia en estos sitios se presenta en tres intensidades diferentes que son **débil a moderada, torrencial y granizos**, las cuales se manifiestan con duraciones promedio de días enteros y dos horas y media hora, respectivamente. Éstas suelen presentarse frecuentemente en los meses de la temporada lluviosa y suelen estar acompañadas de neblina para el primer caso, en los meses de mayo, junio y julio para el segundo caso y en el mes de octubre o noviembre para el caso del granizo, esta forma de precipitación se presenta únicamente una o dos veces como máximo en un año.



Las encuestas realizadas muestran que la zona más alta que al momento está desprovista de monitoreo meteorológico presenta condiciones climáticas diferentes en comparación con zonas más bajas.

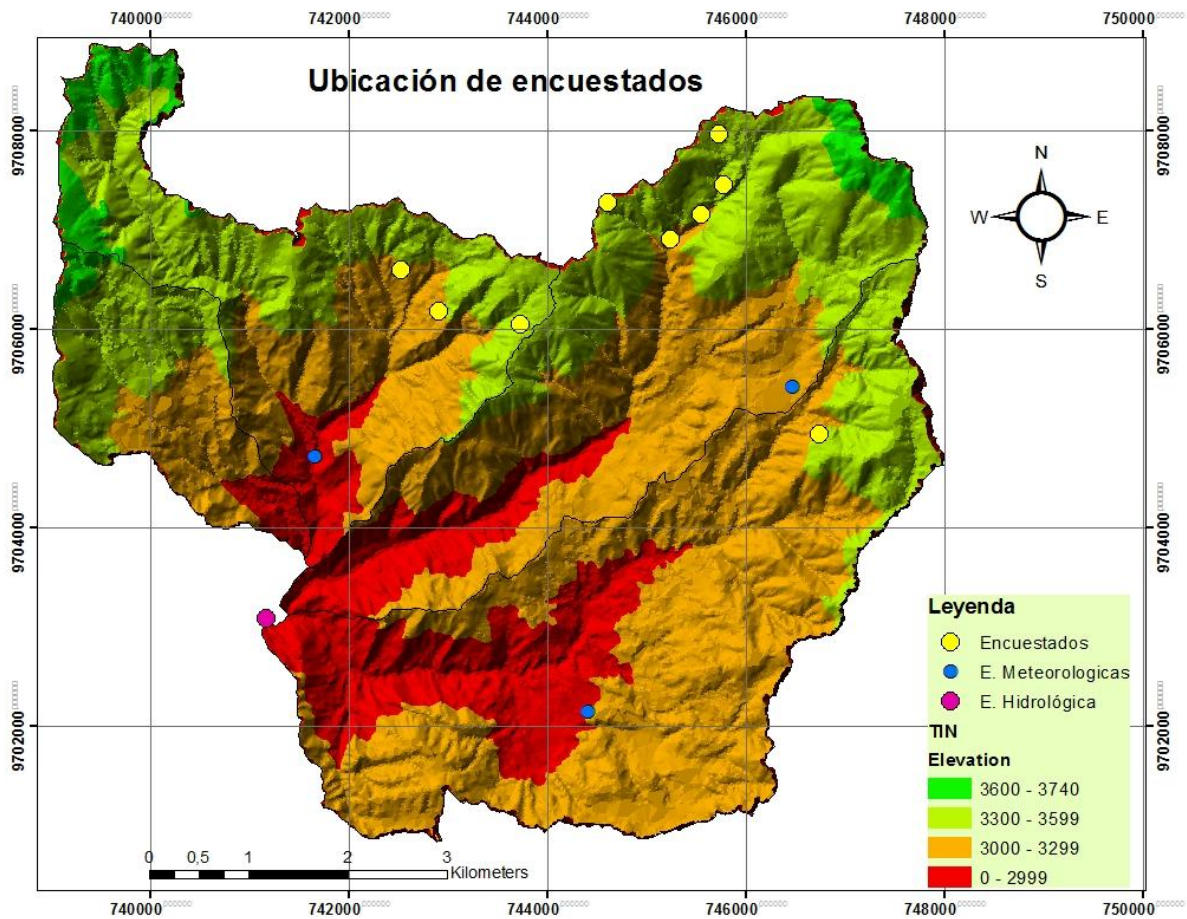


Figura 4.6: Ubicación de encuestados dentro de la zona de estudio.
Fuente: Autor, 2016.

4.3.3 Datos de demanda de agua

La demanda agua o puntos de aprovechamiento (P.A.) identificados se muestran a continuación en un mapa que ilustra la distribución espacial de los mismos al interior de la zona de estudio que ha sido delimitada para ubicar las U.H. de las que compone.

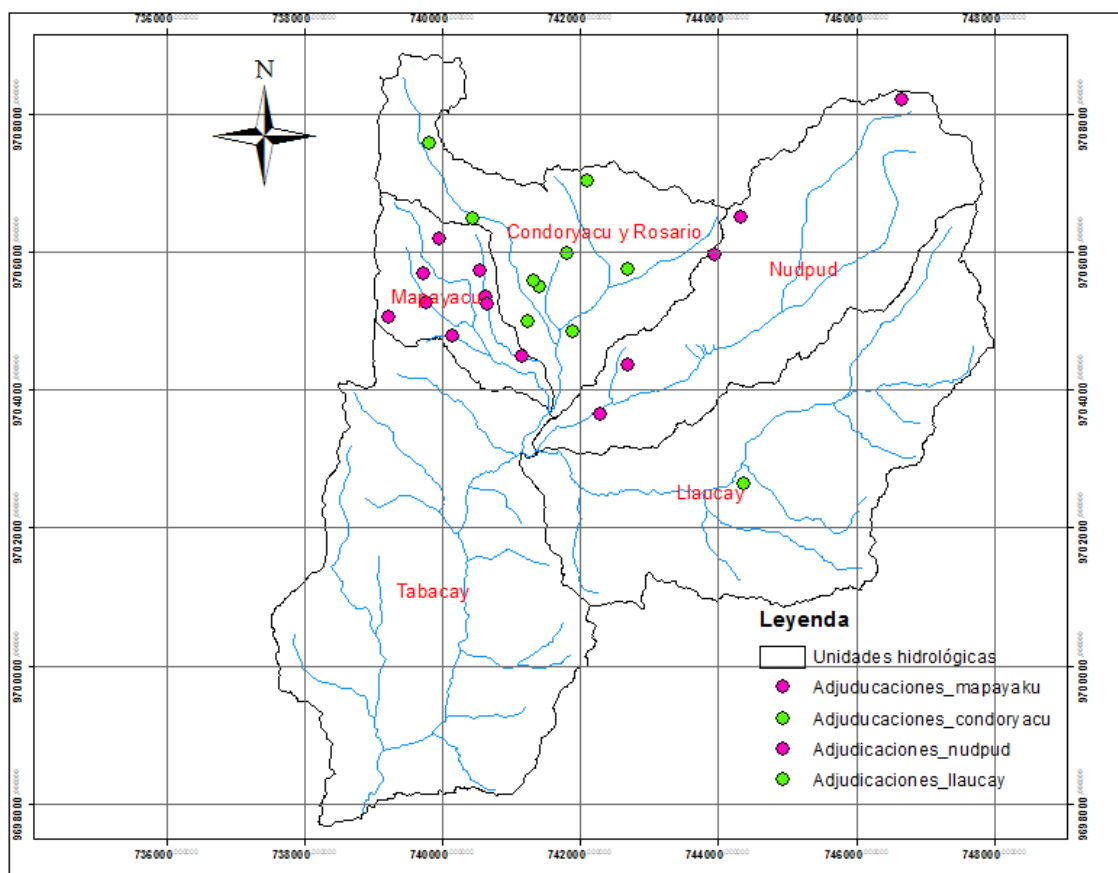


Figura 4.7: Distribución espacial de los puntos de aprovechamiento de agua dentro de la zona de estudio.

Fuente: SENAGUA, 2016. **Elaboración:** Autor, 2016.

Se identificó un número considerable de adjudicaciones en la zona alta de la microcuenca del Tabacay, que se localizan preferentemente en las U.H. Mapayacu y Condoryacu-Rosario. Al contabilizar los P.A. se obtuvo un total de 49 puntos, éstos se encuentran distribuidos de la siguiente manera, en Mapayacu 22 puntos, en Condoryacu-Rosario 17 puntos, en Nudpud 9 puntos y en Llaucay un único P.A. Respecto a los caudales de uso, éstos se presentan en su mayoría menores a 1 lit/seg, pocos puntos son los que se hallan registrados con grandes caudales de aprovechamiento, los usos para los que se destina el agua son riego, abrevaderos y uso doméstico únicamente. Un aspecto que se detectó en las U.H. con mayor cantidad de adjudicaciones es que varios puntos se encuentran registrados bajo un mismo nombre y coordenadas geográficas, esto indica que en estos puntos hay caudales de uso que se suman y consideran como uno solo lo que da como resultado valores de caudales de uso más grandes. Los P.A. con mayores caudales se adjuntan como Anexo 8.

Se contabilizó el caudal total de aprovechamiento de agua para cada U.H. determinado que en Mapayacu hay un desvío de 69.47 lit/seg y en Condoryacu-Rosario hay un desvío de 58 lit/seg de sus respectivos cauces.



Universidad de Cuenca

Estas dos U.H. presentan mayores caudales de desvío en comparación con las U.H. restantes las cuales presentan, en el caso de Nudpud 0.426 lit/seg y en Llaucay únicamente 0.38 lit/seg según los datos de SENAGUA.

La evaluación de los datos muestra una disparidad evidente en los registros de los P.A. lo que compromete la validez de estos datos para Nudpud y Llaucay y no permite hacer uso de la totalidad de los resultados obtenidos. Por un lado, en Mapayacu y Condoryacu-Rosario los datos muestran que estas zonas están sometidas a mayor estrés hídrico debido al caudal que se desvía de sus cauces, en tanto que los resultados obtenidos para Nudpud y en especial para Llaucay no son concluyentes. Esto deja como resultado que la información no muestra la realidad de la demanda de agua en la zona de estudio en su totalidad.

4.3.4 Estado del monitoreo hidrológico

El monitoreo hidrológico dentro de la zona de estudio se realiza en un único punto el cual se encuentra inmediatamente después de la confluencia de los cauces de Llaucay y Nudpud, el cual se encuentra próximo al punto en el cual se forma en río Tabacay. Las U.H. monitoreadas son las más extensas de la zona de estudio sumando un total de **31 km²** lo que corresponde a un **68%** del área total de la zona de estudio. Por otro lado, el área que no se monitorea suma un total de **14.35 km²** que representa el **32%** restante de la superficie de la zona de estudio. Los resultados obtenidos indican que el incremento de puntos de monitoreo hidrológico es imperioso para diferenciar las cantidades de agua que provienen de cada una de las U.H. de las que se compone la zona de estudio, ya que un solo punto de registro de datos no ofrece el volumen ni la representatividad de datos necesaria para obtener una visión del rendimiento hídrico de las zonas monitoreadas al momento y menos de la totalidad de la zona alta de la microcuenca.

4.4 Falencias detectadas en el sistema de monitoreo actual

De acuerdo a los resultados obtenidos en la sección de evaluación del sistema actual, éste presenta varias falencias que se han detectado y que frenan y limitan la obtención de resultados acordes a los que se han planteado las personas a cargo de este trabajo.

Respecto al personal, los conocimientos que éste posee son adecuados, pero no los suficientes para lograr los objetivos y fines para los cuales se ha puesto en marcha el monitoreo, lo cual se ve reflejado en los pocos resultados que se han obtenido con el monitoreo actual en los planos de determinación de parámetros hidrológicos y productos directos de este trabajo.

Por otro lado, está la coordinación con la que el personal lleva el trabajo de monitoreo, ésta no se encuentra totalmente articulada ya que existen puntos, que se refieren exclusivamente al trabajo de monitoreo, en los cuales hay discordancias entre la información brindada por los miembros del personal que



puede ser la causa de varias falencias detectadas. Adicionalmente, se detectó que las personas a cargo del trabajo de monitoreo no tienen una idea clara sobre cómo se estructuró el actual sistema de monitoreo de recursos hídricos, ya que al preguntar sobre temas como: frecuencias de medición de variables, tipos y número de variables medidas, razones para la disposición de equipos en sus sitios actuales y elección de éstos, se remiten al plan de manejo de la microcuenca del Tabacay elaborado en 2003 el cual se realizó en coordinación con el PROMAS de la universidad de Cuenca.

Respecto a la evaluación de las series de datos sean estas meteorológicas o hidrológicas, éstas muestran datos con gran número de vacíos para ciertos puntos de monitoreo operativos. Estos vacíos restan utilidad y calidad a los datos lo cual sumado a la no utilización de protocolos y la falta de determinación de parámetros hidrológicos restan aún más la funcionalidad de los mismos. Los equipos con los que se realiza el monitoreo en gran número operan correctamente, pero es conveniente mencionar que se han dado casos de equipos los cuales sufren desperfectos sea en su calibración, funcionamiento o de sus componentes lo que compromete la continuidad de las series de datos, por lo cual la utilización de ese tipo de equipos, se convierte en una falencia más que se detecta en el actual sistema de monitoreo de recursos hídricos.

Tabla 4.8: Falencias detectadas en el trabajo de monitoreo hidrometeorológico.

Área	Falencia detectada
Equipos de monitoreo	Operativos: Interrupción del monitoreo por desperfectos o des-calibración de equipos. No operativos: existencia de equipos en este estado. Tiempo de vida de los equipos de monitoreo Uso de diferentes marcas de equipos para el monitoreo
Protocolos para generación de datos	No existen protocolos documentados para la generación de datos en general en cualquiera de sus fases.
Protocolos para calibración y mantenimiento de equipos	No existen protocolos para mantenimiento y recalibración de equipos de monitoreo.
Series de datos existentes	Meteorológicos: vacíos numerosos y amplios de datos en una de las estaciones de monitoreo. Períodos globales de recolección de datos no uniformes Hidrológicos: vacíos numerosos de datos en la única estación de monitoreo.
Bases de datos	Los datos brutos y procesados para su presentación están dispersos, pero dentro de una misma ubicación para facilitar su acceso.
Continúa Tabla 4.8	



Conocimientos en materia hidrológica	Insuficiente por parte del personal para lograr los objetivos y fines del monitoreo.
Productos obtenidos	Base de datos hidrometeorológicos fragmentada ajustada a la escala de la microcuenca del río Tabacay.
Personal y recursos	Personal insuficiente para realizar todas las actividades que conlleva el monitoreo de la zona. Recursos (logísticos) restringidos para la realización del trabajo de monitoreo.

Fuente: Autor, 2016.

Las falencias expuestas representan aspectos que se deben cambiar para obtener resultados del monitoreo y mejorarlos para que se logre el objetivo y la meta de este trabajo en su totalidad.

4.5 Propuesta de sistema de monitoreo hidrometeorológico

El sistema de monitoreo de recursos hídricos de la zona alta del Tabacay se ha diseñado para recoger datos hidrometeorológicos representativos para toda la extensión de la zona de estudio. Con esta premisa se ha elaborado una propuesta que consta de **tres sub-propuestas** de las cuales la primera es necesaria para conseguir los objetivos y fines planteados en cuanto a monitoreo meteorológico e hidrológico ajustado a la escala de la zona de estudio, en tanto que las opciones restantes están a criterio opcional para a ser ejecutadas con el fin de conocer a mayor detalle la hidrología de la zona de estudio y ampliar aún más las metas del monitoreo. Hay que aclarar que Mapayacu al ser una U.H. con un área muy pequeña y al no contener equipos de monitoreo dentro de su perímetro se la ha contemplado conjuntamente con Condoryacu-Rosario para elaborar la propuesta de monitoreo meteorológico, en el caso del monitoreo hidrológico no se proponen puntos de monitoreo de este tipo para esta U.H. debido a que EMAPAL EP no capta agua de la misma.

Sub-propuesta 1: Se debe hacer una ampliación tanto de la red meteorológica como de la hidrológica. En cuanto al plano meteorológico, es necesario conocer la dinámica del clima de toda la zona; un estudio realizado por Córdova et al., (2016), muestra variaciones de 5.5 °C/km para temperatura mínima y de 8.8 °C/km para temperatura máxima dentro de un rango de 2600 y 4200 msnm. Por esto se recomienda la instalación de tres estaciones climatológicas equipadas con sensores que como mínimo midan precipitación, temperatura, humedad del aire, radiación, velocidad y dirección del viento para que se pueda cerrar un estudio de balance hídrico, dos de estas estaciones se localizarán en los sitios más altos de la microcuenca del Tabacay específicamente en los predios pertenecientes a EMAPAL EP (Molovog y Pugioloma), la estación climatológica restante se ubica en el lugar en el que actualmente opera la estación pluviométrica de Llaucay misma que se halla cercana a la cota más baja de la zona alta de la microcuenca y en un territorio abierto en el cual las barreras topográficas no representan un factor que interfiera con las mediciones.



Universidad de Cuenca

Ubicar de esta forma estas estaciones permite obtener datos climatológicos de la zona alta de la microcuenca a partir de sitios representativos ya que éstas se ubican en los extremos superiores de la microcuenca y en las cercanías del punto de confluencia de las U.H. de las que se compone el área de estudio.

Finalmente, la estación Nudpud permanece como una de tipo climatológico, estos datos sirven como un punto de partida para iniciar el estudio de variables climatológicas de la zona de estudio ya que son los únicos datos de este tipo con los que se cuenta; la estación ubicada en Condoryacu se mantiene como una de tipo pluviométrico.

Ubicar dos estaciones en las altitudes mayores del Tabacay se justifica en que al menos el 28% de la superficie de la cuenca del río Paute esta sobre los 3500 msnm y la densidad de estaciones sobre los 3000 m es de 1 por cada 360 km² (Célleri et al., 2007).

En cuanto al plano hidrológico, se plantea implementar dos nuevos puntos de monitoreo, uno de ellos ubicado en la U.H. que no presenta monitoreo de este tipo, específicamente en la quebrada Condoryacu en un sitio próximo y aguas arriba de la captación de agua de esta quebrada, este punto se sitúa en este lugar con el fin de conocer el caudal generado en el área sobre la captación de la quebrada. Los caudales de Condoryacu y Rosario se desvían y llevan a la planta de tratamiento de Uchupucun (EMAPAL EP, 2016). Con el registro de estos datos es posible discretizar las contribuciones hídricas de las quebradas de las que se compone la U.H. Condoryacu-Rosario. Se propone la implementación de otro punto de monitoreo ubicado a la salida de la U.H. Nudpud para conocer el caudal a su salida; este caudal se capta y desvía en conjunto con el caudal de Llaucay después de su punto de confluencia y se lleva a la planta de tratamiento de Mahuar cay (EMAPAL EP, 2016), esta información servirá como fuente de información para ser contrastada con los datos generados en Rubíes y en la planta de Mahuar cay y así determinar el caudal proveniente de Llaucay. Los sitios tomados en cuenta son tramos rectilíneos de río que se seleccionaron a través de recorridos en campo, éstos cuentan con 11m y 15m de longitud respectivamente en los cuales resulta factible implementar estructuras hidráulicas y equipos de monitoreo para la medición de variables hidrológicas, caudales primordialmente.

Sub-propuesta 2 (opcional): Se recomienda la implementación de dos puntos adicionales de monitoreo hidrológico ubicados a la salida de la U.H. Llaucay y a la salida de la quebrada Rosario con el objeto de conocer exactamente las contribuciones hídricas de estos territorios. Para este fin se determinaron dos tramos de río que cuentan con longitudes de 12m y 8m respectivamente. Estos puntos se toman como una opción extra debido a las condiciones de los sitios determinados, en el caso de Rosario el tramo encontrado se ubica inmediatamente antes de la captación de esta quebrada y resulta compleja la implementación e instalación de estructuras hidráulicas y equipos de monitoreo.



Por otro lado, en el caso de Llaucay el tramo de río encontrado presenta varias socavaciones en sus orillas lo que hace difícil adecuarlo para la implementación de equipos de monitoreo hidrológico sin antes realizar obras de adecuación.

Sub-propuesta 3 (opcional): Esta opción se plantea como una recomendación por parte del autor la cual se hace con fines de integrar a la zona de estudio a iniciativas que buscan generar información y conocimientos sobre los ecosistemas andinos. Estas iniciativas han desarrollado procesos definidos para que microcuencas diversas formen parte de ellas; la investigación hidrológica es muy compleja, sobre todo en los andes, debido a la amplia variabilidad encontrada de ecosistemas, condiciones climáticas y configuraciones geomorfológicas (Célleri et al., 2009). Un ejemplo es la iniciativa Regional de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA). Protocolos de este tipo de iniciativas establecen aspectos como monitoreo indispensable, escalas de monitoreo, densidad de estaciones, tanto meteorológicas como hidrológicas, procedimientos para medición de variables, equipos a usar, frecuencia de descarga de datos, entre muchos más que se implementan tras una cooperación mutua entre los miembros de estas iniciativas y los actores encargados del manejo de microcuencas. Aquí se trata de alcanzar un nivel de estandarización en los datos generados con el fin de realizar estudios y comparar resultados con otros obtenidos en otras microcuencas que pertenecen a la iniciativa. Para que la zona alta de la microcuenca del Tabacay forme parte de una iniciativa de este tipo es necesario la implementación de un mayor número de estaciones de monitoreo tanto meteorológicas como hidrológicas y determinar áreas representativas de la microcuenca (cuencas pares) con coberturas vegetales o usos de suelo de uno solo y/o diferente tipo. Determinar esta condición dentro del área de estudio puede ser complejo, pero no imposible debido a las condiciones de cobertura vegetal y usos de suelo determinadas en este estudio ya que usos de suelo como zonas pastoriles y suelo descubierto se encuentran repartidas por toda la superficie de la microcuenca. Un impacto de esta condición es la disminución de la función de regulación hídrica de la microcuenca (Crespo et al, 2010). La inclusión de la microcuenca del río Tabacay en una iniciativa de este tipo ayudaría a investigar y obtener resultados concluyentes sobre las relaciones existentes entre las diferentes condiciones hidrológicas, meteorológicas, biofísicas y geomorfológicas de la zona y traería consigo el reconocimiento de esta área a nivel regional y la colocaría como un referente para la incursión en nuevas y sofisticadas investigaciones sobre la hidrología de los ecosistemas andinos.

4.5.1 Parámetros de rediseño

Los parámetros tomados en cuenta para la toma de decisión de ampliación de la red de monitoreo se detallan a continuación.



Tabla 4.9: Parámetros usados para decidir ampliar la red de monitoreo hidrometeorológico.

Tipo monitoreo de	Parámetro para	Resultado del análisis
M. Meteorológico	Área cubierta por cada estación de monitoreo	El área de las U.H. monitoreadas es mayor que 10 km ² .
	Variabilidad espacial y variabilidad temporal de lluvias	Las precipitaciones presentan comportamientos característicos en cada sitio de monitoreo en los períodos ene-nov de 2014 y año 2015 a escala anual y mensual.
	Altitud de operación de las estaciones	La altitud de operación varía en 320 m siendo Nudpud la estación a mayor altura a la actualidad, en tanto que Llaucay y Condoryacu están a altitudes similares pero distantes espacialmente.
	Concordancia entre datos de encuestas y datos registrados	Los datos recolectados y analizados presentan poca similitud, encontrándose un comportamiento diferente en las zonas más altas en comparación con otras más bajas dentro de la misma zona de estudio.
Resultado:	Ampliación de la red de monitoreo meteorológico	
M. Hidrológico	Parámetro para el rediseño	Resultado del análisis
	Puntos de monitoreo existentes	Un punto en total, ubicado aguas debajo de la convergencia de los cauces de Nudpud y Llaucay (2766msnm).
	Área cubierta por la red de monitoreo	31 km ² que corresponde a 68% del área total de la zona de estudio.
	Área sin monitoreo	14.35 km ² que representa el 32% de la superficie de la zona de estudio.
	Demanda de agua	Se reporta 49 P.A. en la zona de estudio. Mapayacu 22 puntos Condoryacu-Rosario 17 puntos Nudpud 9 puntos (no son concluyentes) Llaucay 1 punto (no son concluyentes)
	Caudales totales de aprovechamiento	Mapayacu se desvía 69.47 lit/seg Condoryacu-rosario se desvía 58 lit/seg Nudpud 0.426 lit/seg. Llaucay se desvía 0.38 lit/seg
Resultado:	Ampliación de la red de monitoreo hidrológico	

Fuente: Autor, 2016.



La ampliación de la red de monitoreo hidrometeorológico después de obtener estos resultados presenta un total de cinco estaciones de monitoreo meteorológico y tres hidrológicas lo que incrementa el grado de adquisición de datos para entender el comportamiento hidrológico de la zona de estudio puesto que con la red actual los datos obtenidos corresponden únicamente a una porción del área de estudio.

Las características de los sitios de ubicación de los nuevos puntos de monitoreo meteorológico se presentan a continuación y se obtuvieron a través del análisis de la información cartográfica generada.

Tabla 4.10: Características de sitios de ubicación para nuevos puntos de monitoreo.

Punto de monitoreo meteorológico	Molovog	Pugioloma	Llaucay
U.H. de ubicación	Condoryacu	Nudpud	Llaucay
Altitud (msnm)	3560	3430	2998
Pendiente del terreno	5-10% (llanura inclinada)	0-5% (llanura)	5-10% (llanura inclinada)
Usos de suelo	Páramo	Páramo	Zona pastoril
Accesibilidad	Cercano a vías de acceso	Cercano a vías de acceso	Cercano a vías de acceso
Pertenencia del terreno	EMAPAL EP	EMAPAL EP	EMAPAL EP

Fuente: Autor, 2016.

Las características enlistadas son parámetros de factibilidad que dan viabilidad a la implementación de los nuevos puntos de monitoreo meteorológico propuestos en la opción 1 de la propuesta de la red de monitoreo; las coordenadas geográficas de todos los nuevos puntos de monitoreo para las opciones 1 y 2 se adjuntan como Anexo 9.

Respecto a los puntos de monitoreo hidrológico, para su selección se trató de cumplir con la mayor parte de los criterios citados en la Tabla 3.6, logrando alcanzarlos en casi su totalidad, por esta razón antes de la implementación de cualquier equipo o estructura para la medición de variables hidrológicas es necesario ejecutar obras para adecuar los sitios y dejarlos aptos para el inicio del monitoreo. Fotografías de los sitios determinados para el monitoreo hidrológico y meteorológico se adjuntan como Anexo 10.



Figura 4.8: Ubicación espacial de los nuevos puntos de monitoreo.
Fuente: Autor, 2016.



5. Conclusiones y recomendaciones

La evaluación sobre el funcionamiento del actual sistema de monitoreo de recursos hídricos de la zona de estudio deja ver que éste se ha desarrollado en su plano meteorológico para realizar un monitoreo ajustado a la escala de toda la microcuenca del río Tabacay, esto se corrobora al analizar la distribución espacial de cada una de las estaciones sobre la zona de estudio, las cuales se han dispuesto para la obtención generalizada de datos en cada U.H. de las que se compone la zona alta del Tabacay. En el plano hidrológico, el trabajo de monitoreo realizado hasta el momento es insuficiente ya que se recogen datos que corresponden a dos de las cuatro U.H. de las que se compone la zona de estudio; las U.H. monitoreadas son aquellas de mayor superficie y el registro de datos se hace en un solo punto lo que hace que no se pueda discretizar el aporte de caudal de cada área monitoreada. Si bien, la evaluación de los datos de demanda de agua no es concluyente para parte de la zona de estudio, esta muestra una aglomeración de puntos de aprovechamiento de agua en las dos U.H. que no están siendo monitoreadas, para una de éstas se ha propuesto un nuevo punto de monitoreo hidrológico, dejando la restante (Mapayacu) sin recolección de datos de este tipo debido a su pequeña área y a la calidad y condiciones naturales del agua de la misma lo cual imposibilita que se capte agua de ésta para procesos de potabilización.

Por otro lado, EMAPAL ha conformado una base de datos compuesta por información de precipitación, variables climatológicas y caudales que presenta vacíos de información en dos de los puntos de monitoreo operativos. En parte, esto es una consecuencia del no uso de protocolos de ninguna clase mismos que representan una guía documentada que se estructura para suprimir errores durante cualquiera de las fases de generación de datos hidrológicos y meteorológicos y así obtener la mayor calidad posible en la información. Por otro lado, las series de datos no han sido sometidas a evaluaciones técnicas, por ejemplo, aplicación de métodos para probar su homogeneidad o para estimar su grado de incertidumbre, la aplicación de estos estudios sirve para determinar la fiabilidad y calidad de los datos de los cuales se componen las series de datos. Las falencias detectadas en la evaluación del sistema de monitoreo indican que es necesario e inmediato ejecutar acciones para eliminarlas, estas acciones se deben centrar en mejorar e incrementar el conocimiento del personal a cargo del monitoreo en todas las secciones tratadas en la encuesta realizada a dicho personal, a través de capacitación en estos tópicos, al mejorar en este aspecto se obtendrán resultados concluyentes a futuro con el nuevo sistema de monitoreo propuesto.

Generar información cartográfica ajustada a la escala de la zona de estudio tuvo importancia para determinar parámetros puntuales clave durante el análisis del actual sistema y para la estructuración de un sistema de monitoreo ajustado al tamaño de la zona alta la microcuenca del Tabacay. Esta información jugó un papel importante en la delineación de la variabilidad especial y temporal de las



Universidad de Cuenca

lluvias, aspecto preponderante para el necesario y correcto entendimiento sobre el comportamiento de las lluvias de la zona de estudio y para obtener los resultados esperados con este proyecto al desarrollar la propuesta del nuevo sistema de monitoreo.

Toda la información recolectada y generada ha permitido conocer a fondo el trabajo de monitoreo hidrometeorológico en la microcuenca del río Tabacay, la cual se ha interpretado e integrado para desarrollar un sistema de monitoreo conformado por un total de ocho puntos de monitoreo de los cuales cinco se destinan al seguimiento de variables meteorológicas y las restantes al seguimiento de otras de tipo hidrológica especialmente de los caudales salientes de las U.H. Es necesario recalcar que la capacitación por parte del personal a cargo del monitoreo de la zona de estudio en temas de conocimiento en materia de hidrológica, correctos procedimientos para monitoreo hidrometeorológico, operación y mantenimiento del sistema y determinación de parámetros hidrológicos es de mayor importancia que la implementación de los nuevos puntos de monitoreo ya que serán estas personas quienes se encarguen de obtener los resultados que permitan alcanzar el objetivo y la meta con el que se inició el monitoreo que es el conocer el comportamiento hidrometeorológico de la microcuenca del Tabacay y cuantificar el recurso hídrico del que se dispone.

Se recomienda que antes de la implementación de cualquier equipo para la medición de variables hidrológicas se realicen obras de soporte para adecuar los tramos de río encontrados y propuestos para ser puntos de monitoreo ya que éstos presentan problemas como socavaciones en el caso Condoryacu y Llaucay y vegetación nativa circundante en el caso de Rosario, para lo cual una opción es la construcción de gaviones para contener crecidas durante épocas de lluvia.

Adicionalmente, en cuanto a la tecnología a implementar para cualquier tipo de monitoreo se recomienda adquirir aquella que brinde las mejores opciones tanto en funcionalidad y vida útil ya que por causa de esta última se han presentado varios problemas que han dado como resultado vacíos de información en las series de datos. Se recomienda realizar consultas variadas a diferentes grupos de profesionales e investigadores que trabajan exclusivamente en el campo del monitoreo hidrometeorológico para poseer mayor diversidad de opiniones respecto a la viabilidad de adquirir una u otra tecnología y equipos para la medición de variables tanto meteorológicas como hidrológicas ya que uno de los puntos frágiles del personal a cargo del monitoreo en la zona de estudio es la falta de experiencia. Finalmente, se recomienda unificar la tecnología con la que se trabaje en al menos los nuevos puntos de monitoreo, esto por cuestiones de agilidad en la operación y mantenimiento de los equipos.



6. Referencias bibliográficas

- Alekseevskii, N., Zavadskii, A., Krivushin, M., & Chalov, S. (2015). Hydrological monitoring at international rivers and basins. *Water Resources*, 42(6), 747–757. <https://doi.org/10.1134/S0097807815060020>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bievre, B., & Cisneros, F. (2003). Hidrología del Páramo Andino: propiedades, importancia y vulnerabilidades.
- Buytaert, W., Célleri, R., Willems, P., De Bièvre, B., & Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, 329(3–4), 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031>
- Cajas, D. (2005). *Caracterización de la carga de sedimentos en suspensión en la Microcuenca del río Tabacay*.
- Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350–355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>
- Célleri, R., Bièvre, D. B., & Ochoa, B. (2012). Guía Metodológica Para El Monitoreo Hidrológico De Ecosistemas Andinos. *Condesan*, 1–17. Retrieved from <http://www.condesan.org/portal/sites/default/files/guiametodologica-mhea05nov2012.pdf>
- Célleri, R., Buytaert, W., De Bièvre, B., Tobón, C., Crespo, P., Molina, J., & Feyen, J. (2009). Understanding the hydrology of tropical Andean ecosystems through an Andean network of basins (pp. 209–212). Goslar-Hahnenklee: International Workshop on Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins. Retrieved from <https://www-scopus-com.v.ucuenca.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-79551567083&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=celleri&st2=&sid=4564F890BD7C58B5FA18FDBED785F898.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3A60&sot=b&sdt=b&sl=20&s=AUTHOR-NAME%28celleri%29&relpos=14&>
- Célleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316–3327. <https://doi.org/10.1002/hyp.6575>
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C. J., 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*, 48(4), 673–684. <https://doi.org/10.1657/AAAR0015-077>
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Feyen, J., Iñiguez, V., Borja, P., & De Bievre, B. (2009). Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems (pp. 71–76). Goslar-Hahnenklee: International Workshop on Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins. Retrieved from <https://www-scopus-com.v.ucuenca.edu.ec/record/display.uri?eid=2-s2.0-79551505851&origin=resultslist&sort=plf->



f&src=s&st1=celleri&st2=&sid=4564F890BD7C58B5FA18FDBED785F898.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3A60&sot=b&sdt=b&sl=20&s=AUTHOR-NAME%28celleri%29&relpos=15&

- De Bièvre, B., Iñiguez, V., & Buytaert, W. (2008). Hidrología del páramo: importancia, propiedades y vulnerabilidad. *Investigaciones Biofísicas En El Páramo*, 1–15.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Ingeniare Revista chilena de ingenier* (Vol. 17). <https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000>
- EMAPAL EP. (2016). Departamento de gestión ambiental. (2016). Base de datos pluviométricos, climatológicos e hidrológicos de la microcuenca del río Tabacay. Azogues. Ecuador. Retrieved February 15, 2016.
- EMAPAL EP. (2016). Plantas de Tratamiento EMAPAL EP. Retrieved January 30, 2017, from http://emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=122%3Aplantas-de-tratamiento&catid=64&Itemid=53&showall=1
- Flores, A. (2010). *Codificación de imágenes satelitales utilizando técnicas de compresión con pérdidas y sin pérdidas*.
- FONAG, & BID. (2009). *Plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Guayllabamba*.
- Global Water Partnership, & Organizations, I. N. of B. O. (2009). *Manual para la gestión integrada de recursos hídrico en cuencas. Global Water Partnership y Red Internacional of Basin*
- Hamilton, S. (2012). The 5 Essential Elements of a Hydrological Monitoring Program. *Management*, 9.
- IDEAM. (2004). Guía Para El Monitoreo Y Seguimiento Del Agua, 39. Retrieved from http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8441&shelfbrowse_itemnumber=8939
- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (2002). *Programa nacional para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana: páramos. Congreso mundial de páramos- Memorias Tomo I*. Retrieved from http://www.paramocolombia.info/doc_memorias.html
- Orellana, R. (2006). Apuntes de Fotogrametría. *System*, 1–48.
- Organización Mundial de Meteorología. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas Volumen I. Manual*. <https://doi.org/OMM-Nº168>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R., Martín, L., & Bachiller, I. (2008). Fotogrametría, 1–134. Retrieved from http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGRAFIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf
- Pérez, D. J. (2007). Introducción a los Sensores Remotos - Aplicaciones en Geología. *Uba*, 9.
- PROMAS. (2003). *Plan de manejo de la microcuenca del Río Tabacay*.
- SENAGUA. (2016). Base de datos de puntos de aprovechamiento de agua en la microcuenca del río Tabacay. Cuenca. Ecuador. Retrieved April 20, 2016.



- SIGTierras. (2010). Ortofotografías y DEM usado para proceso de clasificación superficial de la zona de estudio. Quito. Ecuador. Retrieved December 09, 2015.
- Suarez, M. (2012). Cuenca Hidrográfica. Retrieved January 30, 2017, from <https://www.scribd.com/doc/37731211/Cuenca-Hidrografica-5-clase-7>
- TELEDET. (2007). Tutorial de introducción a la Percepción Remota Satelital. Retrieved January 30, 2017, from <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/imagenes-satelitales-tutorial.htm>
- Tobón, C. (2008). Los bosques andinos y el agua. *Publicación de ECOBONA*, 68. Retrieved from http://www.bosquesandinos.info/ECOBONA/Bosques_final-web.pdf
- Umaña, E. (2002). Taller de Capacitación: Educación Ambiental con enfoque en manejo y prevención de desastres. Modulo: Manejo de Cuencas hidrográficas y protección de Fuentes de agua., 26.



7. Anexos

Anexo 1: Encuesta realizada a personal de EMAPAL

1. Conocimiento en hidrología y meteorología

1. ¿Conoce cómo funciona el ciclo hidrológico en general?
2. ¿Conocimientos de procesos dentro del ciclo hidrológico?
3. ¿Conoce los procesos de generación de escorrentía?
4. ¿Conoce el planteamiento de un balance hídrico?

nulo	1	
poco	2	
medio	3	
bueno	4	
vasto	5	

Las preguntas N° 1 a 4 se evaluaron en la escala que se muestra.

5. ¿El cambio de uso de suelo, produce afectación en los procesos hidrológicos? Si no
6. ¿En series de datos, reconoce la variabilidad espacial y temporal?
Si no
7. ¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?
Si no

2. Monitoreo hidrometeorológico

1. ¿El monitoreo se ha implementado con qué objetivo y con qué fin?
2. ¿Qué variables se monitorean?
3. ¿Por qué esas variables?
4. ¿Cuál es la zona de mayor interés para ser monitoreada?
5. ¿Para la ubicación de la estaciones y equipos, qué aspectos se tomaron en cuenta?
6. ¿Con qué frecuencia los sensores gravan datos?
7. ¿Por qué se trabaja con esa frecuencia?
8. ¿Por qué no puede ser ésta mayor o menor?
9. ¿Cuál es la frecuencia con la que se descargan (salida a campo) los datos?

Hidrológicos

Meteorológicos

10. ¿La tecnología puesta en funcionamiento es la apropiada y la suficiente? Si no
11. ¿Por qué se escogió esa tecnología?
12. ¿Se realiza calibración de equipos de monitoreo y mantenimiento de infraestructura? Si no
13. ¿Con qué frecuencia?
14. ¿El monitoreo en todas sus fases es realizado exclusivamente por personal de EMAPAL? Si no
15. ¿Los datos recolectados hasta ahora, qué problemas presentan?



16. ¿Por qué se dieron esos problemas?
17. ¿Considera que los datos recolectados son confiables?
18. ¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?
Si no

3. Operación y mantenimiento

1. ¿Desde qué fecha está operativo el sistema de monitoreo?
2. ¿El monitoreo ha sido ininterrumpido durante ese tiempo?
Si no
3. ¿Por qué se dieron estas interrupciones?
4. Se sigue algún protocolo para:

Calibración de equipos de medición	si	no
Transmisión de datos	si	no
Pre-procesamiento de datos	si	no
Análisis de datos	si	no
Almacenamiento de datos	si	no
5. ¿Existe una base de datos exclusiva para los datos recolectados?
Si no
6. ¿El personal que realiza la labor de operación y mantenimiento del sistema es el suficiente? Si no
7. ¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?
Si no

4. Determinación de parámetros hidrológicos

1. ¿Determina, y conoce métodos para la determinación de estos parámetros?

Homogeneidad de series de datos	Si	no
Estacionalidad de lluvias y caudales	Si	no
Identificación de épocas de estiaje o incremento de lluvias	Si	no
Flujos base	Si	no
Balance hídrico	Si	no
Evapotranspiración en la cuenca	Si	no
2. ¿A más de los parámetros mencionados, ¿qué otros se determinan a partir de los datos recolectados?
3. ¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?
Si no

5. Productos del monitoreo realizado

1. ¿Qué productos se han obtenido como consecuencia del monitoreo en el Tabacay?
2. ¿Con qué frecuencia se reportan estos productos?
3. ¿Qué productos cree que EMAPAL debería entregar y que no lo está haciendo, en el plano hidrometeorológico?
4. ¿Por qué no se están generando estos productos? En el caso de no
5. ¿Están obligados a reportar datos a alguna autoridad?



Universidad de Cuenca

6. ¿Cuáles son las aspiraciones que se piensa alcanzar con los datos que se están recolectando?

Se ha pensado en:

- Estimación de incertidumbre y disminución de la misma
- Análisis espacial de precipitación o evapotranspiración
- Modelación hidrológica
- Estimaciones de disponibilidad de agua a futuro
- Predicción de eventos naturales
- Pronostico del clima (1 – 3 meses, alerta temprana de sequias)
- Otros

7. ¿Considera la necesidad de capacitación en este tema?

Si no

Anexo 2: Ficha de registro de equipos de monitoreo.

Ficha de registro de equipos de monitoreo		
Nombre del equipo:	Ubicación:	Inicio de operación:
Tipo de equipo:	UTMx (m)	Fin de operación:
Código:	UTMy (m)	Última fecha de reporte de datos:
Estado operativo:	Cota (msnm)	Observaciones:
Emplazado en:	Administrado:	
Variable(s) que registra:		
Evidencia fotográfica:		

Anexo 3: Encuesta a pobladores que viven alejados de los sitios de monitoreo

1. ¿Cuántos años ha vivido en esta zona?

2. ¿Cuál o cuáles son los meses más lluviosos en este sitio?

3. ¿Cuál o cuáles son meses menos lluviosos en este sitio?



4. ¿Las lluvias, con qué intensidad se presentan?

Débil y ligera	Torrencial
Moderada	Granizo
Fuerte	

5. ¿Las lluvias, cuánto duran?

Débil y ligera	Torrencial
Moderada	Granizo
Fuerte	

6. ¿Ha notado cambios en cómo se dan las lluvias en la zona?

Si No

7. ¿Desde su punto de vista, qué cambios ha notado?

Desplazamientos en los tiempos de lluvia	Incremento de los tiempos de sequia
Incremento de los tiempos de lluvia	Disminución de tiempos de sequia
Disminución de los tiempos de lluvia	Otros_____
Desplazamientos en los tiempos de sequia	

8. ¿Respecto a otras zonas dentro de la zona alta del Tabacay, las precipitaciones son diferentes?

Latitudinalmente
Longitudinalmente

9. ¿Respecto al clima en este sitio, éste se comporta de manera diferente en comparación con zonas más altas o más bajas dentro de la zona alta del Tabacay?

Si No

Nombre _____

Firma _____



Anexo 4: Respuestas tabuladas de encuesta realizada a personal de EMAPAL

1 Conocimientos en hidrología y meteorología.

Las cuatro preguntas iniciales de la encuesta evalúan conocimientos elementales en hidrología y se midió en una escala de 1 a 5 donde 1 es nulo y 5 vasto, aquí los encuestados reportan lo siguiente, en promedio. Las respuestas a las preguntas 5 y 6 de esta sección fueron en promedio afirmativas.

Tabla 4.1: Respuestas a la sección uno de la encuesta.

Preguntas 1-4	Objeto de la pregunta	Grado de conocimiento
Encuestado		
Encuestado No 1	Conocimientos en hidrología básica	5 (vasto)
Encuestado No 2		3 (medio)
Pregunta 5		Respuesta
Encuestado No 1	Afectación por parte de cambio de uso de suelo	Si
Encuestado No 2		Si
Pregunta 6		Respuesta
Encuestado No 1	Reconocimiento de V. temporal y espacial	Si, en cuanto a los dos parámetros.
Encuestado No 2		Si, en cuanto a variabilidad temporal No, en cuanto a variabilidad espacial de lluvias

Fuente: Autor, 2016.

2 Monitoreo hidrometeorológico

En respuesta a la pregunta **No 1 y 4** de esta sección, los encuestados concuerdan en que el objetivo del monitoreo es conocer el comportamiento hidrometeorológico de la microcuenca del Tabacay en especial de la zona alta de ésta; el fin del monitoreo es cuantificar el recurso hídrico del que se dispone.

Tabla 4.2: Resultados sección dos de la encuesta.

Pregunta 2	Objeto de la pregunta	Respuestas obtenidas
Encuestado No 1	Variables monitoreadas	Meteorológicas: P, Vel. y Dir. Viento, HR, T, RS, Hidrológicas: Caudal
Encuestado No 2		
Pregunta 3 y 5		
Encuestado No 1 y 2	Aspectos para ubicar equipos y sensores	Los encuestados se remiten al plan de manejo de la microcuenca del Tabacay elaborado en 2003.
Pregunta 6		
Encuestado No 1	Frecuencia de medición de las variables	Frecuencia de 5 min
Encuestado No 2		Frecuencia de 15 min



Pregunta 7		
Encuestado No 1	Por qué se trabaja con esa frecuencia	Capacidad de almacenamiento de equipos
Encuestado No 2		Tiempo de procesamiento de datos Capacidad de almacenamiento de equipos
Pregunta 8		
Encuestado No 1 y 2	Por qué no mayor o menor	Esa es la frecuencia que se fijó en cooperación con PROMAS.
Pregunta 9		
Encuestado No 1 y 2	Frecuencia de descarga de datos	Salidas de campo cada 1 a 2 meses.
Pregunta 10		
Encuestado No 1		Si, la tecnología es la adecuada Si, la tecnología es suficiente
Encuestado No 2		Si, la tecnología es la adecuada No, la tecnología no es la suficiente
Pregunta 11		
Encuestado 1	Por qué esa tecnología	Precisión en las mediciones
Encuestado No 2		Menor margen de error en mediciones Costo accesible
Pregunta 12 y 13		
Encuestado No 1 y 2	Calibración y mantenimiento de infraestructura	Mantenimiento una vez por año.
Pregunta 14		
Encuestado No 1 y 2	Quién realiza el trabajo de monitoreo	El monitoreo es hecho por EMAPAL, con asesoría del PROMAS.
Pregunta 15 y 16		
Encuestado No 1 y 2	Problemas en los datos	Ningún problema en los datos colectados
Pregunta 17		
Encuestado 1 y 2	Datos de calidad	Si, los datos son confiables

Fuente: Autor, 2016.

3 Operación y mantenimiento del sistema de monitoreo

La operación del sistema de monitoreo según la respuesta a la pregunta **No 1** obtenidas se viene dando desde el año 2009 y desde el año 2010 de manera permanente.



Tabla 4.3: Resultados sección tres de la encuesta.

Pregunta 2 y 3	Objeto de la pregunta	Respuestas obtenidas
Encuestado No 1 y 2	Interrupciones en el trabajo de monitoreo	Interrupciones en el monitoreo por: Vida útil sensores Desperfectos en estaciones Robo de equipos
Pregunta 4		
Encuestado No 1 y 2	Protocolos	No se sigue ningún tipo de protocolo en las fases de obtención de los datos.
Pregunta 5		
Encuestado No 1 y 2	Bases de datos	Existe una base de datos exclusiva para los datos recolectados
Pregunta 6		
Encuestado No 1 y 2	Personal a cargo	El personal existente no es suficiente para la operación y mantenimiento del sistema de monitoreo.

Fuente: Autor, 2016.

4 Determinación de parámetros hidrológicos

Los dos encuestados respondieron que no se determina ningún tipo de parámetro hidrológico a partir de los datos recolectados.

5 Productos del monitoreo realizado

Los encuestados en respuesta a la pregunta **No 1 y 2** manifiestan que el único producto obtenido hasta la fecha es la base de datos meteorológico e hidrológicos, la cual se actualiza mensualmente y que no están obligados a reportar datos a ninguna autoridad.

Tabla 4.4: Resultados sección cinco de la encuesta.






Pregunta 3	Objeto de la pregunta	Respuestas obtenidas
Encuestado No 1	Productos del monitoreo que se deberían generar	Relación lluvia-caudal Estado meteorológico e hidrológico de la microcuenca
Encuestado No 2		Disponibilidad de agua en la zona
Pregunta 4		
Encuestado No 1	Razones para no generar productos	Falta de datos No determinación de parámetros No se tiene la experiencia
Encuestado No 2		Experiencia de la empresa en el campo hidrometeorológico



Pregunta 6		
Encuestado No 1 y 2		Las aspiraciones en cuanto a los datos recolectados son las siguientes: Estimación de incertidumbre de los datos Análisis espacial de precipitación Modelación hidrológica Estimación de disponibilidad de agua Predicción de eventos naturales Pronostico del clima

Fuente: Autor, 2016.






Anexo 5: Equipos de monitoreo meteorológico disponibles

Estación Condoryacu (operativa)	
	
Pluviómetro Hobo 90-H07-RG2	
Estación Nudpud (operativa)	
	
Estación climatológica Davis Vantage Pro2	
Estación Llaucay (operativa)	
	
Pluviómetro Davis H07002004	

Fuente: Autor, 2016.



Anexo 6: Equipos y estructuras disponibles para monitoreo hidrológico.

Estación Rubíes (operativa)	
	Aforador trapezoidal de flujo súper crítico.
	Transductor de presión, medición de presión de la columna de agua y presión barométrica.
Estaciones de muestro y medición ISCO (inoperativo)	
	
Aforador San Dimas (inoperativo)	
	

Fuente: Autor, 2016.



Anexo 7: Respuestas de encuestas realizadas a pobladores

	Objeto del a pregunta	Respuesta
Pregunta 1	Años habitando en la zona	23 años
Pregunta 2	Meses más lluviosos	Marzo, abril, mayo, Junio Julio, octubre, noviembre.
Pregunta 3	Meses menos lluviosos	Agosto, septiembre, diciembre, enero, febrero.
Pregunta 4	Formas de precipitación	1) Débil a moderada (poner la frecuencia con la que se da cada forma de precipitación) 2) Torrencial 3) Granizo
Pregunta 5	Duración de las lluvias	1) Días enteros 2) 2 horas 3) Media hora
Pregunta 6	Cambios en la dinámica de lluvias	Todos los encuestados responden si a esta pregunta
Pregunta 7	Cambios dados	Desplazamiento de temporadas de lluvia Incremento de tiempos de lluvia Desplazamiento de temporada secas Endurecimiento de tiempos secos
Pregunta 8	Variación de precipitación	Latitudinalmente Si Longitudinalmente No
Pregunta 9	Variación de condiciones climáticas	Latitudinalmente Si Longitudinalmente No

Elaboración: Autor, 2016.

Anexo 8: P.A. con mayor caudal en la zona de estudio.

U.H. Mapayacu					
#	Caudal (lit/seg)	Uso	Número de concesiones	Coordenadas	
1	3	Riego	1	739220	9705050
2	31,856	Riego, abrevadero, doméstico	4	740650	9705250
3	20	Riego	2	741150	9704490
4	11.8	Riego	1	740650	9705250
U.H. Condoryacu y Rosario					
1	6	Riego	1	741400	9705500
2	5.11	Abrevadero, riego	2	740450	9706490
3	30	Doméstico	1	741900	9704850
4	10	Riego	1	741900	9704850
5	6	Riego	1	741798	9705988

Fuente: SENAGUA, 2016.

Elaboración: Autor, 2016.

Anexo 9: Coordenadas geográficas de nuevos puntos de monitoreo en la zona alta de la microcuenca del Tabacay.

Punto de monitoreo	Tipo de monitoreo	UTM x	UTM y	Cota
Molovog	Meteorológico	740048	9707486	3560
Pugioloma	Meteorológico	746115	9707323	3430
Llaucay	Meteorológico	744400	9702146	2998
Condoryacu	Hidrológico	741607	9704843	2914
Rosario	Hidrológico	742392	9705542	3000
Nudpud	Hidrológico	741393	9703168	2770
Llaucay	Hidrológico	741516	9703098	2770

Fuente: Autor, 2016.

Anexo 10: Sitios determinados para la implementación de estructuras y equipos de monitoreo hidrológico y meteorológico.

Monitoreo hidrológico: Condoryacu



Tramo para medición de variables hidrológicas en Condoryacu (11 metros).

Monitoreo hidrológico: Rosario



Tramo para medición de variables hidrológicas en Rosario (8 metros).

Monitoreo hidrológico: Nudpud



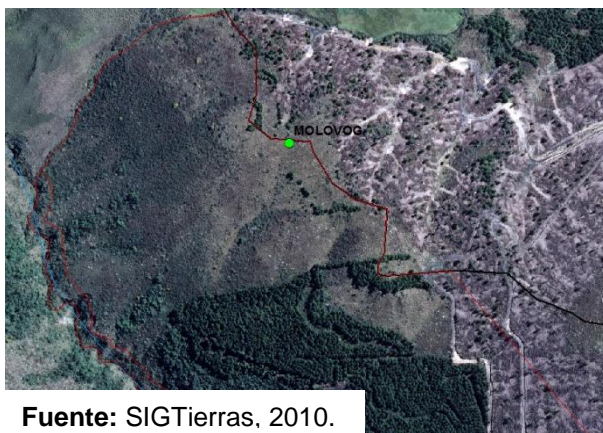
Tramos para medición de variables hidrológicas en Nudpud (15 metros).

Monitoreo hidrológico: Llaucay



Tramo para medición de variables hidrológicas en Llaucay (12 metros).

Monitoreo meteorológico: Molovog (Condoryacu)



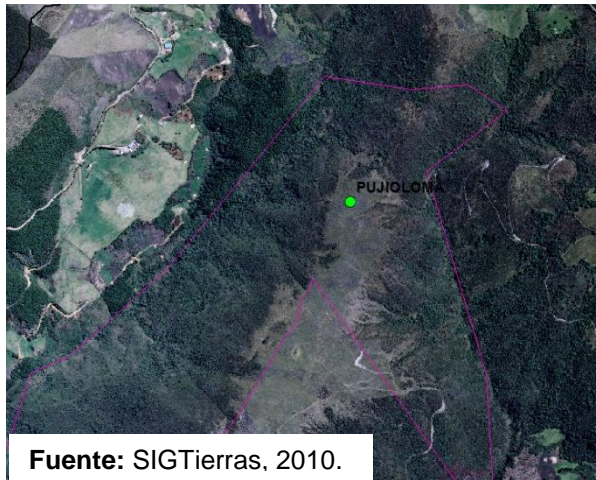
Fuente: SIGTierras, 2010.



Sitio de determinado para la ubicación de estación climatológica.



Monitoreo meteorológico: Pujiloma (Nudpud)



Fuente: SIGTierras, 2010.



Sitio de determinado para la ubicación de estación climatológica .

Monitoreo meteorológico: Llaucay



Fuente: SIGTierras, 2010.



Sitio de determinado para la ubicación de estación climatológica.

Fuente: Autor, 2016.