



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

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

**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RIESGO DE SEQUÍA EN LA  
MICROCENCA DEL RÍO TABACAY, A PARTIR DE LA  
CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: VERÓNICA FABIOLA CAJAMARCA MORQUECHO**

**DIRECTOR: MSc. ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS**

**CUENCA – ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradúe en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## **UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

### **CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS AMBIENTAL DEL RIESGO DE SEQUÍA EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY, A PARTIR DE LA  
CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: VERÓNICA FABIOLA CAJAMARCA MORQUECHO**

**DIRECTOR: MSC. ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

## DECLARACIÓN

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

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




---

**Cajamarca Morquecho Verónica Fabiola**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Cajamarca Morquecho Verónica Fabiola, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Matovelle', is written over a horizontal line.

**Msc. Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de investigación se lo dedico especialmente a mi padre Miguel Ángel Cajamarca y mi madre Piedad Narcisa Morquecho por ser los pilares fundamentales en mi vida, por creer en mí y demostrarme su amor y apoyo incondicional.

A mi familia y amigos cercanos por su motivación y el apoyo incondicional brindado día a día en el transcurso de mi carrera Universitaria,

**Cajamarca Morquecho Verónica Fabiola**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento primeramente a Dios por darme la oportunidad de poder culminar esta etapa de mi vida, y agradecerle en especial al Ingeniero Carlos Marcelo Matovelle por la dirección prestada durante todas las fases de elaboración, por el conocimiento científico, al ingeniero Diego Heras por el apoyo brindado a este trabajo

También deseo mostrar mi gratitud a la empresa EMAPAL EP, en especial al departamento de Gestión Ambiental que contribuyeron para hacer posible esta investigación y se culminara con éxito.

Gracias a mi familia por su paciencia, comprensión, apoyo y que siempre confiaron en mí y nunca dejaron de darme esos ánimos de que todo se puede si uno se propone a pesar de todas las adversidades que se me presenten, gracias a ustedes estoy donde estoy los amo familia.

A todos ustedes, mil gracias

## Resumen

Las sequías tienen impactos sociales y ambientales que inciden en forma negativa en las condiciones de vida de su población, por ejemplo, el recurso hídrico que poseen. Las políticas y la planificación proactivas basadas en evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo pueden reducir el riesgo de sequía evitando que generen los peores impactos. El objetivo de este trabajo fue determinar el análisis de riesgo de sequía meteorológica e hidrológica a partir de la calidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay. Se adquirió registros de datos como de caudales, precipitaciones, correspondientes a los años 2010-2018. Además, se usó información del plan de manejo ambiental, y visitas in-situ. En el análisis de datos se determinó que los puntos de captación de Nudpud, Llaucay, Condoryacu, Mapayacu presentan sequías moderadas, severas y extremas. Esta sequía puede ser causada por las actividades antropogénicas como la ganadería y la agricultura, que han hecho que el suelo del páramo pierda su capacidad de regular el flujo de agua. Para asegurar una mitigación proactiva e inclusiva del riesgo de sequía, el monitoreo constante de los puntos de captación, con la finalidad de predecir condiciones futuras críticas.

*Palabras clave:* microcuenca Tabacay, sequía meteorológica, sequía hidrológica, recurso hídrico, calidad del agua

## **Abstract**

Droughts have social and environmental impacts that negatively affect the living conditions of the population, for instance, the water resources they possess. Proactive policies and planning based on vulnerability and risk assessments can reduce the risk of drought by avoiding the worst impacts. This work aimed to determine the meteorological and hydrological drought risk analysis on the grounds of water resource quality in the Tabacay River micro basin. Data records were acquired, such as flow rates, precipitation, corresponding to the years 2010-2018. Furthermore, both information from the environmental management plan and in situ visits were utilized. In the data analysis, it was determined that the Nudpud, Llaucay, Condoryacu, Mapayacu collection points present moderate, severe, and extreme droughts. This drought may be caused by anthropogenic activities such as cattle ranching and agriculture, which have caused the paramo soil to lose its capacity to regulate water flow. To ensure proactive and inclusive mitigation of drought risk, constant monitoring of the collection points, to predict critical future conditions.

*Keywords:* Tabacay micro basin, meteorological drought, hydrological drought, water resources, water quality



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN .....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS .....	xi
LISTA DE ANEXOS .....	xii
CAPÍTULO I .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	7
1.1 Objetivos .....	11
1.2 Objetivo General.....	11
1.3 Objetivos Específicos .....	11
1.4 Hipótesis.....	11
CAPÍTULO II .....	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	12
2.1 Riesgo .....	12
2.1.2 Clasificación del Riesgo.....	13
2.2 Vulnerabilidad.....	14
2.3 Peligro o amenaza.....	16
2.4 Sequía.....	17
2.5 Índices de sequía.....	20
2.6 Análisis de Calidad del agua .....	24
2.8 Riesgo se sequia.....	29
CAPÍTULO III .....	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31

3.1 Delimitación de la zona de estudio .....	31
3.4 Variabilidad hidro-química de la microcuenca .....	51
3.5 Obtención del índice de sequía meteorológica .....	53
3.6 Obtención del índice de sequía hidrológica .....	57
3.8 Metodología para el análisis del riesgo.....	67
IV .....	68
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1 Análisis y obtención de resultados del índice de sequía Meteorológica .....	68
V .....	84
5. CONCLUSIONES .....	84
VI .....	86
6. RECOMENDACIONES.....	86
VII .....	86
7. BIBLIOGRAFÍA.....	86
VIII .....	91
8. ANEXOS.....	91

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Factores del análisis del riesgo con un enfoque holístico.....	13
<b>Figura 2:</b> Componentes y factores de la vulnerabilidad .....	15
<b>Figura 3:</b> Causas y consecuencias de las distintas clases de sequías e impactos adversos .....	20
<b>Figura 4:</b> Factores que influyen en la cantidad y calidad del agua.....	25
<b>Figura 5:</b> Ubicación geográfica de la microcuenca del Tabacay.....	32
<b>Figura 6:</b> Punto de nuestros de la calidad del recurso hídrico dentro de la microcuenca del rio Tabacay .	37
<b>Figura 7:</b> Ubicación de las captaciones de la microcuenca del Tabacay .....	39
<b>Figura 8:</b> Captación de Nudpud .....	40
<b>Figura 9:</b> Quebrada de Nudpud .....	40
<b>Figura 10:</b> Captación de Llaucay .....	41
<b>Figura 11:</b> Quebrada de Llaucay .....	41
<b>Figura 12:</b> Captación de Condoryacu .....	42
<b>Figura 13:</b> Quebrada de Condoryacu.....	42
<b>Figura 14:</b> Captación de Mapayacu.....	43
<b>Figura 15:</b> Quebrada de Mapayacu .....	43
<b>Figura 16:</b> Evaluación de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales. ....	47
<b>Figura 17:</b> Valoración de la calidad de agua en función del Potencial de Hidrogeno. ....	47
<b>Figura 18:</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. ....	48
<b>Figura 19:</b> Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos. ....	48
<b>Figura 20:</b> Valoración de la calidad de agua en función de los Fosfatos.....	49
<b>Figura 21:</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.....	49
<b>Figura 22:</b> Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez.....	50
<b>Figura 23:</b> Valoración de la calidad de agua en función de los Sólidos Disueltos Totales.....	50
<b>Figura 24:</b> Valoración de la calidad de agua en función del porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto.....	51
<b>Figura 25:</b> Datos de Precipitación de la Microcuenca del río Tabacay. ....	52
<b>Figura 26:</b> Datos de caudal de la microcuenca del río Tabacay.....	57
<b>Figura 27:</b> Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Nudpud. ....	69
<b>Figura 28:</b> Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Condoryacu. ....	70
<b>Ilustración 29:</b> Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Llaucay. ....	70
<b>Figura 30:</b> Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Guapán.....	71
<b>Figura 31:</b> Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Nudpud.....	73
<b>Figura 32:</b> Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Llaucay.....	74
<b>Figura 33:</b> Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Mapayacu.....	74
<b>Figura 34:</b> Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Condoryacu. ....	75
<b>Figura 35:</b> Análisis de la calidad del agua en la captación de Llaucay .....	77
<b>Figura 36:</b> Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Llaucay .....	77
<b>Figura 37:</b> Análisis de la calidad del agua en la captación de Nudpud .....	78
<b>Figura 38:</b> Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Nudpud.....	78
<b>Ilustración 39:</b> Análisis de la calidad del agua en la captación de Condoryacu .....	79

<b>Figura 40:</b> Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Condoryacu .....	79
<b>Figura 41:</b> Análisis de la calidad del agua en la captación de Mapayacu .....	80
<b>Figura 42:</b> Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Mapayacu .....	80
<b>Figura 43:</b> Análisis de la calidad del agua en las captaciones de la microcuenca del río Tabacay .....	81

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Categorización de las intensidades de sequía de acuerdo con los valores SPI. ....	22
<b>Tabla 2.</b> Probabilidad de sucesos de sequía con valores obtenidos del SPI. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Categorización de las intensidades de sequía de acuerdo con los valores “ICE”. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Superficie de las quebradas de la microcuenca. ....	33
<b>Tabla 5.</b> Parámetros mofo-métricos de la microcuenca del Tabacay. ....	34
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas de las quebradas de la microcuenca. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Ubicación de las quebradas de la microcuenca. ....	38
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de la calidad del agua ....	44
<b>Tabla 9.</b> Categorización del índice estandarizado de precipitación “SPI” ....	55
<b>Tabla 10.</b> Categorización del índice estandarizado de caudal “ICE” ....	59
<b>Tabla 11.</b> Escala de valoración y convenciones para las variables y componentes de los factores de vulnerabilidad. ....	63
<b>Tabla 12.</b> Funciones para la estimación de la Vulnerabilidad. ....	63
<b>Tabla 13.</b> Componentes, variables y criterios de evaluación para la obtención de la vulnerabilidad por exposición. ....	65
<b>Tabla 14.</b> Componentes, variables y criterios de evaluación para la determinación de la vulnerabilidad mediante la capacidad de adaptación. ....	66
<b>Tabla 15.</b> Clasificación del riesgo ....	67

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Nudpud.....	91
<b>Anexo 2.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Condoryacu .....	92
<b>Anexo 3.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Llaucay.....	92
<b>Anexo 4.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Guapán .....	93
<b>Anexo 5.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Nudpud.....	94
<b>Anexo 6.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Condoryacu .....	94
<b>Anexo 7.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Llaucay .....	94
<b>Anexo 8.</b> Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Guapán .....	95
<b>Anexo 9.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Nudpud .....	95
<b>Anexo 10.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Llaucay .....	96
<b>Anexo 11.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Mapayacu.....	96
<b>Anexo 12.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Condoryacu .....	97
<b>Anexo 13.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Nudpud .....	97
<b>Anexo 14.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Llaucay .....	98
<b>Anexo 15.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Mapayacu.....	98
<b>Anexo 16.</b> Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Condoryacu .....	99
<b>Anexo 17.</b> Análisis de la calidad del agua .....	100
<b>Anexo 18.</b> Degradación cerca de la captación de Nudpud. ....	102
<b>Anexo 19.</b> Deforestación en el punto de captación de Llaucay .....	102
<b>Anexo 20.</b> Deforestación cerca de la captación de Mapayacu.....	103
<b>Anexo 21.</b> Escasez de agua en la captación de Condoryacu.....	103

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El riesgo de sequía es una catástrofe natural compleja que ha afectado regiones del mundo a lo largo de la historia, suele desarrollarse cuando diferentes variables como meteorológica e hidrometeorológica (Trenberth *et al.*, 2014). Este riesgo tiene efectos duraderos y de gran alcance en la sociedad, la economía y el medio ambiente (Kim *et al.*, 2017; Park *et al.*, 2018). De acuerdo con las proyecciones del cambio climático habrá un aumento de las temperaturas mundiales que repercutirá en aspectos hidrometeorológicas incluyendo el riesgo de sequía (Trenberth *et al.*, 2014). Durante las sequías, se determina que el déficit del recurso hídrico el clima trasciende a través del ciclo hidrológico y puede posteriormente reducir los niveles de las aguas subterráneas, los caudales de los arroyos y los niveles de los lagos (Prudhomme *et al.*, 2014). Además, la sequía puede conducir no sólo a una disminución del recurso hídrico sino también que presente un deterioro de la eficacia del agua (Mosley, 2015). Por ende los efectos que genera la sequía, a su vez en la cantidad y calidad del agua han sido estudiados ampliamente (Romero *et al.*, 2004; van Vliet & Zwolsman, 2008; X. Zhang *et al.*, 2014). Sin embargo, no hay suficientes estudios sobre los efectos de la sequía en la calidad del agua (Mosley, 2015).

Las sequías hidrometeorológicas también pueden resultar en cambios significativos en la calidad del recurso hídrico tanto superficial y subterránea, estos cambios mismo que pueden presentarse dependiendo de las peculiaridades del cuerpo de agua y su captación. El flujo de agua y las disminuciones de volumen durante la sequía generalmente puede presentar un aumento en la degradación del suelo, desecación, aumento de la salinidad debido a una dilución y concentración de masa reducida, incremento de incendios forestales, afecciones a las biodiversidad, retardo del

crecimiento de las plantaciones, reducción de la producción económica, agrícola e industrial (Meza *et al.*, 2010).

De hecho, el acelerado retroceso de los glaciares ha contribuido a generar tendencias negativas en el flujo de los arroyos, y es probable que las zonas más secas sufran de salinización y desertificación en las tierras agrícolas (Field *et al.*, 2014). Además, los lagos y las microcuencas que se han caracterizado por ser fuentes de agua potable y de riego para las comunidades cercanas, hoy en día presentan una disminución de la calidad del recurso hídrico en los sistemas lacustres de todo el mundo debido a las alteraciones del equilibrio hídrico originarias del cambio climático (Liu *et al.*, 2017).

Bajo este contexto, el presente trabajo se ha enfocado en el estudio de la hidrología de las sequías, específicamente el riesgo de sequía en la microcuenca del Río Tabacay, a partir de la vulnerabilidad de los recursos hídricos. La microcuenca del río Tabacay enfrenta problemas en la gestión de los recursos naturales, especialmente en el recurso agua. Las actividades antrópicas como la agricultura y la ganadería en zonas no aptas, o la tala de árboles, han ocasionado que el suelo del páramo pierda su capacidad de regular el flujo hídrico, originando que este recurso se encuentre en mala calidad en los diferentes puntos de captación (Carlod, 2016). Además, la ausencia de flujo hídrico conlleva a una probabilidad de riesgo sequías en la zona alta, media y baja de la microcuenca. De acuerdo a la literatura, la sequía es uno de los procesos climáticos que tiene un efecto prolongado en el tiempo ocasionando desastres lentamente dominando un territorio cada vez mayor, tendiendo afecciones en especial en la economía, producción de alimentos mismos que beneficia a la aparición de plagas y por ende ocasione enfermedades endémicas que puedan afectar al ser humano, animales y los cultivos (Caribe, 2018). También, los efectos de la sequía en los ecosistemas fluviales incluyen pérdidas que pueden ser directas (por ejemplo, la



destrucción del hábitat para las especies acuáticas) o indirectas; como el deterioro de la calidad del agua, la calidad del suelo y el aumento de la posibilidad de incendios forestales (Zhao *et al.*, 2020). Comúnmente, las sequías se catalogan en cuatro tipos principales: 1) meteorológica, 2) hidrológica, 3) agrícola y 4) socioeconómica (Mishra & Singh, 2010). Dado que el desarrollo de la sequía no puede atribuirse únicamente a los factores climáticos o amenazas ambientales, es necesario considerar factores humanos. Se ha estudiado aspectos físicos y ambientales del desarrollo de la sequía. Sin embargo, hay una escasa literatura sobre vulnerabilidades a la sequía (González Tánago *et al.*, 2016).

Es importante la estimación de la vulnerabilidad frente a diferentes escenarios de cambio climático con el propósito de poder implementar medidas de adaptación y mitigación. Estas medidas podrían reducir las alteraciones de la calidad del ciclo hidrológico, usando como base el parámetro de sequía y vulnerabilidades. Para lograr dicha estimación es necesario determinar una zona de estudio de acuerdo con la sensibilidad de la microcuenca. Además, se necesita identificar las principales amenazas del cambio climático y los sectores vulnerables a dichas amenazas (Bowen, 2018). Los estudios existentes sobre la vulnerabilidad a la sequía se han realizado principalmente a nivel local y por sectores (Ncube *et al.*, 2018). También, se han investigado los diversos factores pertinentes en el contexto de la vulnerabilidad a la sequía, incluidas las dimensiones económicas, sociales, sanitarias, ambientales y políticas (Frischen *et al.*, 2020). Otros autores elaboraron un enfoque de la vulnerabilidad de los recursos hídricos, centrado en cuestiones tanto de calidad como de cantidad de agua, basado en un método de sistemas paramétricos (Wang *et al.*, 2012).

Por otro lado, debido a los devastadores efectos de las sequías, es necesario establecer un componente legal para una adecuada gestión que proteja los recursos hídricos de las acciones antrópicas. Específicamente, la microcuenca del río Tabacay requiere de una planificación

adecuada para su conservación y protección. Hoy en día esta microcuenca está siendo propensa a una sequía hidrometeorológica por la mala calidad del recurso hídrico, aumentando el índice del riesgo de sequía (Matovelle, 2017). Además, no ha existido técnicas ni planes de manejo que favorezcan la calidad de agua como recurso (Morales, 2017). Cabe recalcar que en los últimos años la microcuenca del río Tabacay ha sido muy afectado por acciones antrópicas tales como; la agricultura, la ganadería, el urbanismo en zonas no aptas, la introducción de plantaciones de pino o la tala de árboles. Estas acciones han generado una serie de impactos sociales y ambientales que están incidiendo de forma negativa en el equilibrio biótico y abiótico de esta microcuenca, siendo el principal afectado el recurso hídrico que se puede evidenciar en su coloración y eutrofización en las zonas de captación. Las consecuencias también se ven evidenciadas en la calidad del agua para el abastecimiento de las comunidades aledañas y la ciudad de Azogues en el suministro de agua potable, como la turbidez, el sabor y el olor, las preocupaciones por los patógenos y las dificultades para gestionar los subproductos de la desinfección. Por lo tanto, es esencial precautelar el recurso hídrico tanto en calidad y cantidad para el disfrute de las futuras generaciones. Se requiere generar alternativas de solución orientadas hacia la gestión ambiental eficiente, en base al establecimiento de operaciones de uso, manejo de recursos naturales e infraestructura, y la relación de las inversiones para el aprovechamiento del recurso hídrico, por ende, se obtendría resultados favorables para la conservación y preservación de la microcuenca del río Tabacay. Es importante adquirir una comprensión profunda de los riesgos de sequía que incluyan aspectos naturales y humanos. Adicionalmente, la comprensión de la vulnerabilidad y el riesgo a las condiciones más secas es fundamental para garantizar la pronta adopción de medidas de ordenación adaptativa. El presente documento tiene por objeto evaluar el riesgo de sequía de la

microcuenca del río Tabacay, a partir de la calidad del recurso hídrico. A continuación, se describe los objetivos de esta investigación.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.2 Objetivo General**

Determinar el riesgo de sequía ajustado a la dinámica hidrológica de los puntos de captación de la microcuenca del río Tabacay en base a la calidad del recurso hídrico.

#### **1.3 Objetivos Específicos**

1. Establecer la zona de estudio en base a la morfometría de la microcuenca del río Tabacay.
2. Obtener el índice de sequía meteorológica, mediante el análisis de datos de precipitaciones.
3. Obtener el índice de sequía hidrológica, en base del análisis de los datos caudales.
4. Calcular el riesgo de sequía en función de la probabilidad de ocurrencia, y la vulnerabilidad de la calidad del recurso hídrico.

#### **1.4 Hipótesis**

La mala calidad del recurso hídrico, aumenta el índice del riesgo de sequía.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### *2.1 Riesgo*

##### 2.1.1 Definición

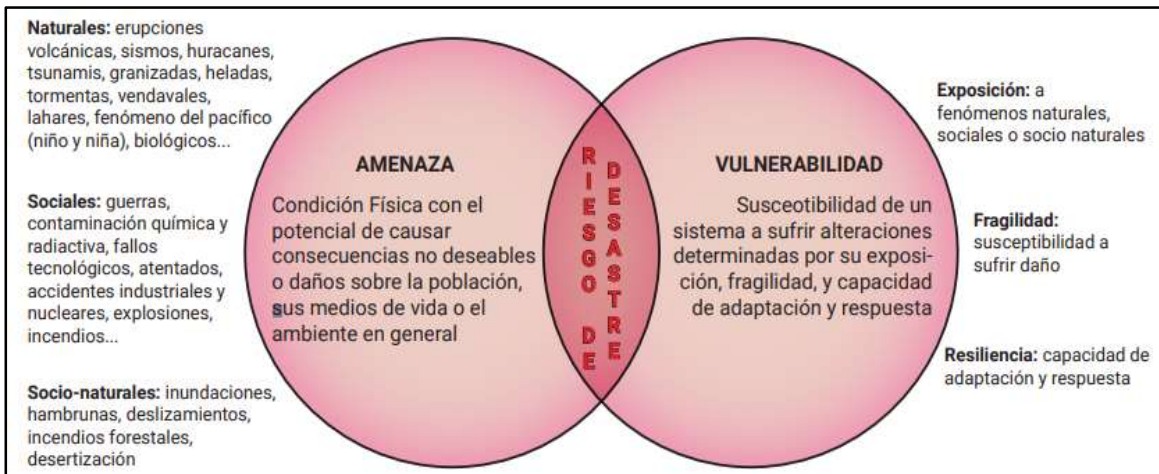
Los fenómenos naturales en particular inundaciones, sequia, terremotos y huracanes encierran un potencial considerable de peligro, sin embargo, se puede establecer una alta probabilidad de que ocasione daños en los bienes o servicios de las personas y por ende a las comunidades, por lo cual se considera una severa amenaza. Es por ello que, existe riesgos naturales de una formidable fuerza que no precisamente son una amenaza, al no coexistir comunidades en su entorno de influencia. Por ende, una localidad que está expuesta a periódicas amenazas de los riesgos naturales, es una población que vive en riesgo permanente, misma que en cualquier momento puede ocurrir una catástrofe con la probabilidad de que aumente la vulnerabilidad de la población, su escasez y la desesperanza para enfrentar este peligro (Carlod, 2016).

El riesgo es una relación entre componentes de peligro y factores de vulnerabilidad, mismo que se puede representar de la siguiente forma:

$$(1) \quad R = P * V$$

(R = riesgo, P = peligro o amenaza, V = vulnerabilidad)

Los factores de amenaza consisten en aspectos naturales, sociales o socio-naturales. Mientras que los factores de vulnerabilidad pueden ser situaciones de fragilidad, exposición a fenómenos o resiliencia. Ver Figura 1.



**Figura 1:** Factores del análisis del riesgo con un enfoque holístico

**Fuente:** (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017)

### 2.1.2 Clasificación del Riesgo

#### 2.1.2.1 Riesgo ambiental

Se le designa riesgo ambiental a un suceso mismo que puede ser natural o por acción humana se origine un daño en el medio ambiente. No obstante, desde el punto de vista de la ISO 14001:2015, el riesgo ambiental se le considera como un efecto de incertidumbre, por ende, implica los efectos tanto positivos como negativos, lo cual se le puede considerar decir amenazas y oportunidades, El riesgo pueden clasificarse de dos formas como:

#### 2.1.2.2 Riesgos naturales

El riesgo natural se refiere a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (sísmicos y volcánicos) y de incendios forestales que, debido a su ubicación, gravedad y frecuencia, por ende, afectaría de forma directa a la población.

#### 2.1.2.3 Riesgos antrópicos

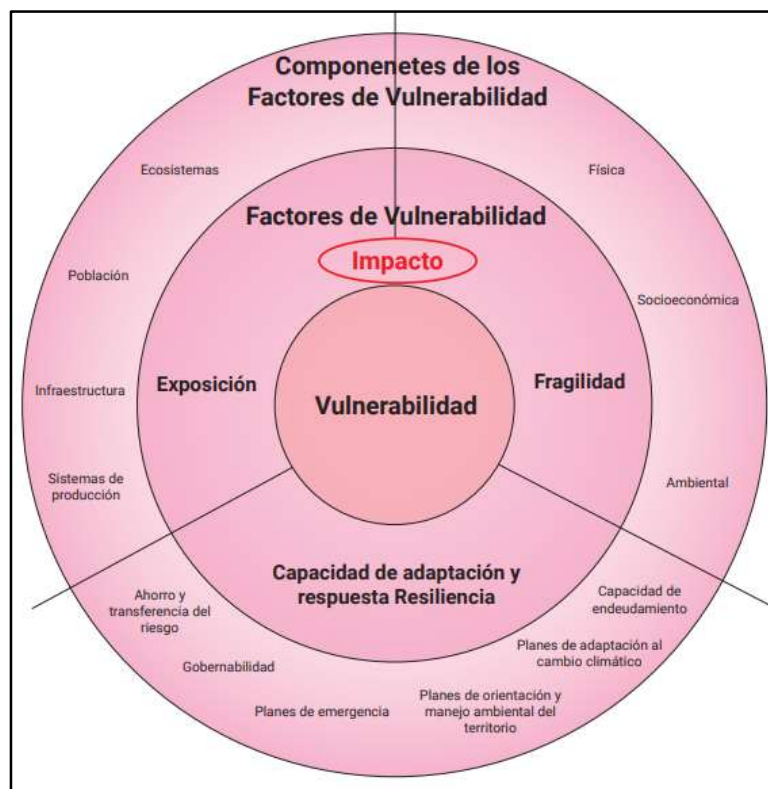
El riesgo antrópico mismo que es ocasionado o producido por actividades humanas. Sin embargo, los escenarios naturales pueden determinar su amenaza. Por consiguiente, la estimación del riesgo ambiental es una herramienta que puede ayudar a establecer un medio de carácter preventivo que conlleve a la aplicación sistemática de políticas legislativas o judiciales, en los procedimientos tanto de análisis, evaluación y control de riesgos, con el objetivo de proteger al medio ambiente y a la sociedad.

## ***2.2 Vulnerabilidad***

La vulnerabilidad es la predisposición para ser perjudicado de forma negativa. Misma que considera varios conceptos, como es la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontar y adaptarse (Wilches-Chaux, 2018). Por ejemplo, todo individuo que se encuentre expuesto a la sequía podría ser vulnerable de alguna forma. Pero algunas personas son mucho más vulnerables que otras. La estimación de la vulnerabilidad a la sequía implica la predicción de la gravedad y el alcance del riesgo, así como sus probables efectos en la economía y la sociedad. A continuación, se describe los conceptos primordiales de vulnerabilidad.

- **Nivel de Exposición:** se considera a la comunidad en base a las características, sistemas u otros recursos donde puede existir diversas amenazas, mismas que pueden ocasionar pérdidas potenciales.
- **Sensibilidad:** Las condiciones de los individuos o comunidades que permanecen expuestas o susceptibles a experimentar daños que podrían verse afectados negativamente por una amenaza natural. Esas condiciones humano-ambientales que tienen la posibilidad de agravar, mejorar o desencadenar el impacto de una amenaza.
- **Capacidad de Adaptación:** La capacidad del sistema para anticipar y moderar posibles daños, con el aprovechamiento de las oportunidades que se les presente, o afrontarse a las consecuencias de un estrés existente o externo anticipado, una amenaza o calentamiento global (García Marín, 2017).

Adicionalmente, la vulnerabilidad se ve influida por una vasta gama de componentes y procesos sociales, económicos y culturales que hasta la fecha se han considerado de manera inconclusa. Por consiguiente, es fundamental averiguar con detalle los cambios de la vulnerabilidad y entender sus efectos en la reducción del riesgo de sequía.



**Figura 2:** Componentes y factores de la vulnerabilidad

**Fuente:** (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017)

## 2.2.1 Tipos de vulnerabilidad

### 2.2.1.1 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física depende de su proximidad geográfica a la fuente y el origen de los desastres; mismo que no permite el acceso a los recursos hídricos, medios de comunicación, hospitales, comisarías, bomberos, caminos, puentes y salidas de un edificio o / un área, en caso de desastres. Además, la falta de planificación e implementación adecuadas en la construcción de edificios residenciales y comerciales da como resultado edificios que son más débiles y vulnerables a terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra y otros peligros. (Rivera, 2017).

### 2.2.1.2 Vulnerabilidad económica

es consecuencia de una relación indirecta entre ingresos nivel y el impacto de la sequía, lo que aumenta el riesgo de desastres debido a la insuficiencia de fondos para la producción, los bajos salarios, el desempleo, el subempleo y la inestabilidad laboral, entre otros.(Rivera, 2017).

### **2.2.1.3 Vulnerabilidad social**

Este concepto se refiere a la inseguridad e indefensión que se vive comunidades, familias e individuos cuando sus condiciones de vida se ven amenazadas por sequía. Pobreza, marginación y atraso social, así como difícil acceso a los servicios de salud, educación y esparcimiento inhiben la capacidad de prevenir, mitigar y responder con prontitud a una situación de desastre debido a un déficit hidrológico.(Rivera, 2017).

### **2.2.1.4 Vulnerabilidad política**

Hace referencia al nivel elevado en la toma de decisiones, organización gubernamental, y la autonomía de realizar acciones ya sea regionales, locales y comunitarios, esto conlleva que se impida una mayor adecuación en las acciones a los problemas que se presentan día tras día (Rivera, 2017).

### **2.2.1.9 Vulnerabilidad ambiental**

este concepto está relacionado con una susceptibilidad intrínseca del medio ambiente o de sus recursos naturales a verse afectados negativamente por la falta de agua; todos viviendo los seres necesitan ciertas condiciones ambientales para su desarrollo, pero cuando la naturaleza puede deteriorarse como resultado de la destrucción de activos ambientales, los ecosistemas se altamente vulnerables a peligros como es el fenómeno de la sequía (Rivera, 2017).

## ***2.3 Peligro o amenaza***

Amenaza hace referencia a situaciones que puedan ocasionar un riesgo. Esta situación puede ser analizada considerando el pasado como punto clave para comprender el futuro, realizando alusión a los probables acontecimientos negativos los cuales tienen la posibilidad de influir a los intereses u objetivos. Además, una amenaza puede ser considerada como un agente externo socio ambiental, potencial destructivo con una determinada magnitud en un cierto lazo de tiempo y en una determinada zona (Valarezo, 2017). Describimos cinco perspectivas para la amenaza.

### 2.3.1 Tipos de peligro o amenaza

#### **2.3.1.1 Amenaza de tipo ambiental**

Se establece que la amenaza ambiental tiene como origen en la dinámica, transformación de la tierra. Comúnmente el ser humano no es participe de este dicho fenómeno, ni está en capacidad de evitar que se provoquen los mismos.



### **2.3.1.2 Amenaza de tipo geológica**

Se le considera riesgo geológico a todo tipo de peligro natural como, por ejemplo: erupciones volcánicas, terremotos, tsunamis, movimientos masivos (por ejemplo, deslizamientos de tierra), inundaciones y sumideros son un asunto de conocimiento común. Cualquier aprovechamiento del subsuelo tiene que afrontar la presencia de riesgos geológicos, independientemente de que sean iniciados naturalmente o inducibles por el impacto humano (Rivera, 2017).

### **2.3.2.3 Amenaza de tipo socio-natural**

La amenaza social-natural se puede dar a través de fenómenos ocasionados por la dinámica de la naturaleza, esto quiere decir que determina a través de frecuencia de sus efectos. Los fenómenos más frecuentes son las inundaciones, las sequías o los deslizamientos, por actividades mal aplicadas como es la deforestación, el mal uso de la tierra, o la construcción de obras de infraestructura sin las debidas precauciones ambientales, en las cuencas, microcuenca y subcuencas (Rivera, 2017).

## **2.4 Sequía**

La sequía perjudica a más personas que cualquier otro riesgo natural y muchos la consideran la más compleja, sin embargo menos comprendida de todas las amenazas naturales (Wickham *et al.*, 2019). Las razones de este fenómeno todavía no están bien reconocidas y sus efectos son de naturaleza diferente, por ejemplo, las inundaciones las cuales crecen con el tiempo, haciéndose visibles a largo plazo y extienden sus efectos a zonas mucho más amplias. Los efectos de este fenómeno incluyen la evapotranspiración y el déficit de las precipitaciones, misma que lleva a la disminución de la disponibilidad de los recursos agua y la capacidad de carga del ecosistema (Jheimy *et al.*, 2017). De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las sequías repercuten en las vidas, salud, ecosistemas, sociedades, las culturas, y la infraestructura debido a la vulnerabilidad de una sociedad o un sistema expuesto (IPCC, 2017). Sin embargo, la sequía puede suceder en zonas de alta y baja precipitación y básicamente en todos los regímenes climáticos, sus características e impactos varían de manera significativa de una región a otra. A continuación, describimos tres factores que dan origen a la sequía:

- a) Cambios en la temperatura superficial como son los mares y océanos, misma que da como resultado una alteración negativa a la atmosfera.

- b) Presencia de una capa de polvo espesa en la atmósfera, provocando que la Tierra se enfríe, dando como resultado cambios en la temperatura, esta presencia de capa de polvo puede ser ocasionada por la erosión eólica.
- c) La quema de combustibles fósiles, provocando un cambio de uso del suelo y por ende conlleva a la mala aplicación en las actividades antropogénica, lo cual contribuyen simbólicamente una modificación a la atmósfera dando como consecuencia alteraciones en los estándares de precipitación.

La sequía puede tener graves consecuencias, así como causar daños a ecosistemas naturales y forestales a más de contribuir al deterioro del suelo y la desertificación, incluso existe la posibilidad de que los efectos del cambio climático incrementen los niveles de severidad de la sequía, obteniendo como resultado un aumento en la escasez del recurso hídrico lo que tendría un impacto devastador para el abastecimiento de agua para consumo doméstico (Jheimy *et al.*, 2017). De acuerdo con la literatura se clasifica la sequía en cuatro categorías: sequía meteorológica, sequia agrícola, sequia hidrológica y sequia socioeconómica.

#### 2.4.1 Tipos de sequia

##### **2.4.1.1 Sequia meteorológica**

La sequía meteorológica está determinada por la carencia de precipitaciones y por la forma en que condiciones como la temperatura y los vientos están afectando a la proporción de humedad. Se expresa en relación con las condiciones medias de una región. La sequía meteorológica es específica de cada región, ya que las precipitaciones son muy variables de una región a otra (Marcos Valiente, 2017).

##### **2.4.1.2 Sequía hidrológica**

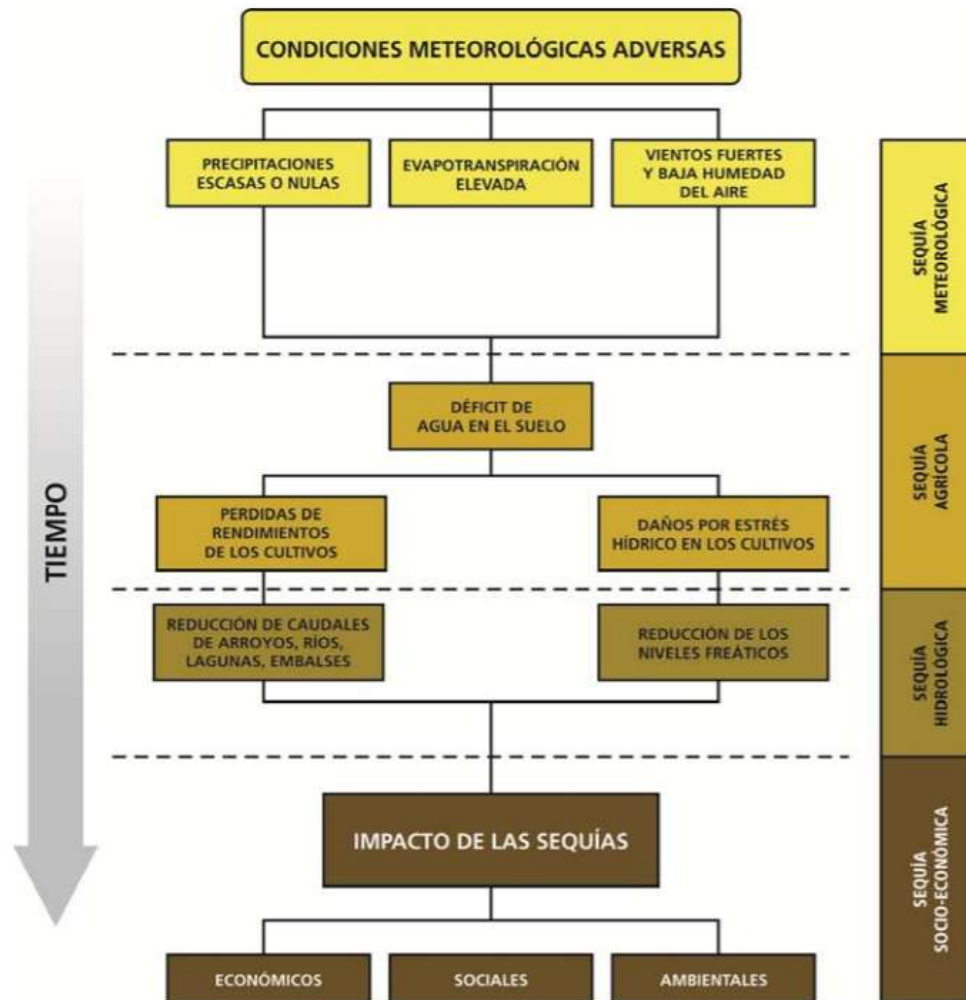
La sequía hidrológica tiene interacción con el déficit en el caudal o volumen de agua superficial, esta deficiencia provoca una escasez de lluvia, ocasionando una notable reducción del caudal tanto de los ríos como el nivel de lagos y embalses. Los cálculos hidrológicos prácticamente son utilizados como un principal indicador de la sequía, el cual va a depender de su intensidad en el tiempo (Marcos Valiente, 2017).

#### **2.4.1.3 Sequía agrícola**

Este tipo de sequía vincula las propiedades de la sequía meteorológica con la agricultura o los paisajes. La sequía agrícola se considera como el primer factor económico que resulta perjudicado mediante la escasez de precipitaciones en la tierra. Esta sequía se origina al no existe una suficiente humedad en el suelo misma que pueda ayudar al desarrollo de los cultivos en cualquier fase de su crecimiento, es por ello que hay que tomar en cuenta que la cantidad de agua que requiera un determinado cultivo puede variar a lo largo del crecimiento de la planta. Por consiguiente, no se puede plantear umbrales que determinen la sequía agrícola misma que no solo depende de las situaciones meteorológicas sino también de las peculiaridades biológicas del cultivo y del suelo (Marcos Valiente, 2017).

#### **2.4.1.4 Sequía socioeconómica:**

La sequía socio-económica se le considera en si a la sociedad que es afectada directamente con la escasez de agua, y por ende a la actividad económica como consecuencia. Sin embargo, este tipo de sequía se le considera perjudicial tanto para el turismo, la salud pública, la infraestructura y muchos otros componentes de la sociedad. Mediante transcurra el tiempo la creciente actividad humana sobre el recurso hídrico va a provocar que cada vez sea mayor la incidencia de este tipo de sequía ocasionando como pérdidas económicas crecientes e inclusive generando una sequía meteorológica leve (Wickham *et al.*, 2019).



**Figura 3:** Causas y consecuencias de las distintas clases de sequías e impactos adversos

**Fuente:** (Marcos Valiente, 2017)

### 2.5 Índices de sequía

Al igual que otros peligros, las sequías tienen la posibilidad de caracterizarse en términos de su gravedad, localización, duración y momento. Las sequías pueden surgir de una serie de métodos hidrometeorológicos que eliminan las precipitaciones o limitan la disponibilidad de aguas superficiales o subterráneas, construyendo condiciones de modo considerable más secas de lo normal o limitando de otro modo la disponibilidad de humedad en un grado potencialmente nocivo. Los indicadores e índices son rangos que dan posibilidades para establecer la ubicación, la persistencia, el inicio y el cese de las condiciones de sequía. Para comprender los diferentes indicadores e índices describiremos algunos conceptos.

Los **indicadores** se les consideran como parámetros que son utilizados para referirse a las condiciones de las sequías tanto en las precipitaciones, temperaturas, caudales, humedad del suelo y el manto de nieve.

Los **índices** se les considera como un principal de analizador del estado cualitativo de las sequías en el entorno en un período de tiempo determinado (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016).

Adicionalmente al índice de sequía se analiza a escala global, utilizan como un ente principal la precipitación como por ejemplo, el índice de precipitación estandarizada SPI se emplea a su cálculo la precipitación como única variable, y por otra parte el índice de caudal estandarizado ICE de caudales (Ortega T, 2017).

### 2.5.1 Índice de sequía meteorológica

#### 2.5.1.1 Índice de precipitación estandarizada (SPI)

El índice SPI suele ser un número único que mide la gravedad de la sequía o la cantidad de precipitaciones que se han desviado de una norma históricamente establecida en un lugar durante un período determinado. Este índice fue desarrollado en 1993 por McKee *et al.* para ponderar el déficit de precipitaciones durante diversos periodos de tiempo, por lo que estos periodos manifiestan un impacto de la sequía sobre la disponibilidad del recurso hídrico, en base a los escenarios de la humedad en el suelo. Por tal motivo, originalmente, el índice de precipitación estandarizada se calcula para periodos de tiempo de 3, 6, 12, 24 y 48 meses (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016).

Los índices SPI-3 suministra una evaluación estacional de la precipitación, SPI-6 muestran tendencias a medio plazo de la precipitación, y el índice SPI-12 determina la precipitación a largo plazo.

Para el cálculo del SPI para una determinada zona de estudio se requiere registros de precipitaciones a medio y largo plazo dependiendo del periodo a ser analizado. Este registro de

datos a medio y largo plazo se verán ajustados a una distribución de probabilidad normal. McKee y otros autores (1993) señalan que un suceso de sequía se produce cuando el SPI toma continuamente valores negativos como -1.0. Por lo tanto, cuando el evento termina el SPI obtiene valores positivos como cero. En otras palabras, la precipitación es el punto clave para poder determinar la frecuencia, duración y severidad de las sequías (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016).

Los valores del SPI se pueden clasificar como sigue:

**Tabla 1.** Categorización de las intensidades de sequía de acuerdo con los valores SPI.

Valores del SPI	Interpretación
2,0 o superior	Humedad extrema
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Humedad moderada
-0,99 a 0,99	Casi normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muy seco
-2,0 o por debajo	Sequedad extrema

**Fuente:** (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016)

La probabilidad de que suceda las siguientes categorías de sequías, mismas que conllevan una determinada gravedad en los diferentes episodios, los valores del SPI se expresa en la tabla siguiente:

**Tabla 2.** Probabilidad de sucesos de sequía con valores obtenidos del SPI.

Valores del SPI	Interpretación	veces por año
0,00 a - 0.99	Ligeramente seco	(uno en tres años)
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco	(uno en diez años)

-1,50 a -1,99	Muy seco	(uno en veinte años)
$\leq -2,00$	Casi normal	(uno en cincuenta años)

Fuente: (Ortega T, 2017)

El SPI tiene varias ventajas; en particular, es flexible y tiene amplias aplicaciones. Por ejemplo, se ha utilizado tanto en la investigación como en el modo operacional en más de 60 países (He *et al.*, 2009). El SPI tiene varias ventajas; en particular, es flexible, simple de calcular y tiene amplias aplicaciones. Por otro lado, la desventaja de este índice es que los valores del SPI se basan en unas reseñas previas, mismas que constantemente pueden cambiar (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016).

## 2.5.2 Índice de sequía Hidrológica

### 2.5.2.1 Índice de caudal estandarizado (ICE)

El índice de caudal estandarizado ICE es aquel que representa la cantidad de desviaciones estándar, el cual parte del valor de los caudales, mismos que se pueden encontrar por encima o por debajo del promedio normal estandarizado. Para su cálculo, se debe realizar un monitoreo donde como lo principal se establece patrones de series temporales de las escenarios hidrológicos considerando como variable de entrada los caudales mensuales estableciéndose en series temporales de 3,6,12 meses (Rivera & Penalba, 2018).

El la obtención de valores de índice ICE se realizó los respectivos cálculos en el software RStudio® desarrollado por Beguería y Vicente en el año (2014), con las series temporales que se mencionó anteriormente, cabe recalcar que los índices de sequía SPI y ICE constan de las mismas series temporales para condiciones de sequía como se observar en la tabla 3 (Castillo-Castillo *et al.*, 2017).

**Tabla 3.** Categorización de las intensidades de sequía de acuerdo con los valores “ICE”.

Valores del SPI	Interpretación
2,0 o superior	Humedad extrema
1,5 a 1,99	Muy húmedo

1,0 a 1,49	Humedad moderada
-0,99 a 0,99	Casi normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Muy seco
-2,0 o por debajo	Sequedad extrema

**Fuente:** (Organización Meteorológica Mundial (OMM) & Asociación Mundial para el Agua, 2016)

## ***2.6 Análisis de Calidad del agua***

### **2.6.1 Calidad del agua**

Mediante estudios relacionados con la calidad del agua en los ríos se ha ido deteriorado a nivel mundial (Bolinches et al., 2020). La calidad del recurso hídrico se determina en base a diversas funciones como con las variables físico-químicas o microbiológicas. Sin embargo, las variables físico-química del agua se les considera sustancias químicas específicas, ocasionando problemas a la salud, estos pueden ser en periodos cortos o de larga exposición. Mientras que, la variable microbiológica son aquellos microorganismos que afectan directamente al ser humano como por ejemplo la presencia de coliformes fecales en el agua.

Es por ello que para analizar la calidad del agua se requiere establecer parámetros, mismo que nos ayudaran como indicadores de contaminación o índices de calidad, lo que nos permitirá medir los cambios observados en un cierto cuerpo de agua, estos cambios pueden ser afectado por distintos tipos de contaminación o degradación. Por lo tanto cualquier cambio que se presente en la concentración de algún parámetro sobrepasando los límites máximos permisibles de agua para uso doméstico, es sospecha de algún grado de contaminación, ya sea físico, químico o bacteriológico (Wu, Yun Zhen *et al.*, 2017).

#### **2.6.1.1 Importancia de la calidad del agua**

La protección de la calidad del recurso hídrico es un tema de interés mundial porque el agua cumple una función vital en la industria, la agricultura, la salud pública y la conservación del medio ambiente (W. Zhang et al., 2018). Con el paso del tiempo la disponibilidad para consumo doméstico es menor, ya sea por distintas razones como es caso del crecimiento poblacional,



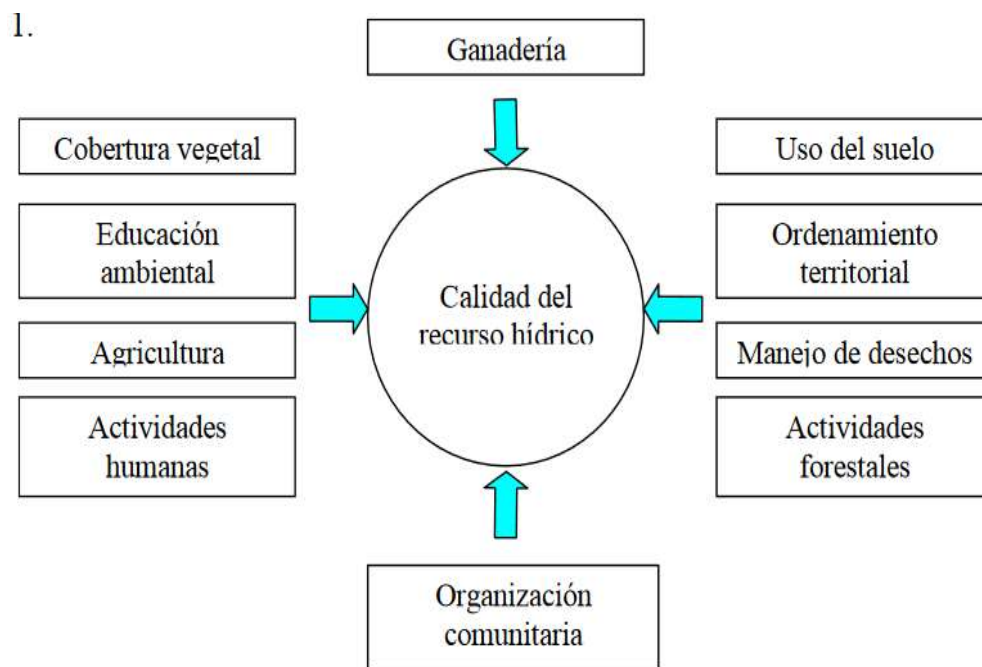
incremento en el consumo per cápita, contaminación del recurso hídrico o por el mal manejo de las cuencas hidrográficas (Payán, 2015).

Cabe recalcar, si el recurso hídrico es constante, pero aquí depende la calidad de este recurso que la transcurrir el tiempo va disminuyendo rápidamente, debido a la profanación de las fuentes de agua. Si estas fuentes permanecen contaminadas no cuenta con el manejo adecuado estas pueden provocar enfermedades en la salud pública con niveles altos de patógenos, principalmente por coliformes fecales mismos que pueden ser de origen humano y animal. (Payán, 2015).

### 2.6.1.2 Calidad y cantidad de agua en una microcuenca hidrográfica

La microcuenca es la unidad de análisis con un enfoque integrado al estudio del agua tanto superficial y subterráneo. Se encuentra limitado por algunos parámetros incluido el páramo, vegetación arbustiva, partes altas, media y baja de la microcuenca. A partir de estos parámetros se conforma una red de drenaje superficial, que tendrá lugar a partir de la presencia de precipitación de lluvias, formando un escurrimiento hacia un río, mediante este va siguiendo su curso por la microcuenca hasta llegar a los ríos, lago o mar. (Payán, 2015).

### 2.6.1.3 Factores que influyen en la cantidad y calidad del agua



**Figura 4:** Factores que influyen en la cantidad y calidad del agua

Fuente: (Payán, 2015)

Las intensas actividades agrícolas asociadas a la aceleración de la urbanización han dado lugar a una tremenda presión sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico (Shi *et al.*, 2017). presenta un deterioro significativo de la calidad del agua en las zonas densamente antropomorfizadas destinadas al uso agrícola (Hosseini *et al.*, 2017). Este mal uso de la tierra puede provocar la transferencia de nutrientes a los cuerpos de agua y por ende afectando directamente a la calidad y cantidad del agua (Payán, 2015). De acuerdo a la literatura, el 80% del deterioro de la calidad del recurso hídrico, se debe en mayor parte por los sólidos suspendidos, mismos que son generados por la erosión de suelos ya que existe la presencia de urbanizaciones, deforestación, actividades agrícolas y ganaderas, por ende este tipo de actividades ocasionan que el agua no se encuentre en perfectas condiciones para el consumo humano (Payán, 2015).

## **2.6.2 Parámetros de la calidad del agua**

Los parámetros de calidad del recurso hídrico son aquellos que se obtienen en relación con los contaminantes mismo que se encuentran presentes en el agua superficial o subterránea de los puntos de monitoreo de la microcuenca de estudio. Estos parámetros incluyen; temperatura T, potencial de hidrógeno pH, turbiedad, sólidos disueltos totales STD, oxígeno disuelto OD, demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno DQO, fosfato , nitrato, y los parámetros bacteriológicos como los coliformes fecales (Wu, Yun Zhen *et al.*, 2017). A continuación, se describe cada uno de los parámetros indicados anteriormente.

### **2.6.2.1 Parámetros de calidad física del agua**

#### **2.6.2.1.1 Temperatura (T)**

La temperatura es una medida del grado de calor de un cuerpo, misma que es expresada en unidades de grado centígrado (°C) la medición se le realiza con un termómetro de mercurio o digital. La descarga de estas aguas en las nacientes superficiales puede causar daño a la flora y fauna acuática, así como favorecer reacciones químicas secundarias, reducir los niveles de oxígeno y acelerar el crecimiento de bacterias (Morales, 2017).

#### **2.6.2.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)**

La concentración de iones de hidrógeno presente en la solución es la medición del pH de esa solución. El rango permisible de pH de agua potable entre 6,5 y 8,5 según OMS. Si el pH está

por debajo 6.5. Se considera que el agua ácida tiende a ser corrosiva para las tuberías y bombas de mano. El pH por encima de 8.5 es agua alcalina y puede tender a tener un sabor amargo (Wu, Yun Zhen *et al.*, 2017).

#### **2.6.2.1.3 Color verdadero**

el color verdadero son las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad. Y el color aparente resulta de las sustancias disueltas como por ejemplo las materias en suspensión (Wu, Yun Zhen *et al.*, 2017).

#### **2.6.2.1.4 Turbiedad**

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas en suspensión en el agua. La alta turbidez es perjudicial para muchos organismos acuáticos e indica una erosión excesiva en la cuenca (Urgilez, 2016).

#### **2.6.2.1.5 Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad proporciona una estimación de la cantidad de sales disueltas en un cuerpo de agua. Si bien cierto contenido de sal es beneficioso, los niveles altos son perjudiciales. (Pauta *et al.*, 2017).

#### **2.6.2.1.6 Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los SDT en el agua se considera como el más importante para medir la calidad de una muestra de agua porque está directamente correlacionado y afectado por una mayor turbidez, dureza, alcalinidad y conductividad de la muestra de agua probada, el rango aceptable de TDS es 500 mg/L (Pauta *et al.*, 2017).

### **2.6.3.1 Parámetros de calidad química del agua**

#### **2.6.3.1.1 Oxígeno disuelto (OD)**

oxígeno es necesario para todas las formas de vida. A medida que los niveles de oxígeno disuelto en el agua caen por debajo de 5,0 mg/L, la vida acuática se ve sometida a estrés. El oxígeno disuelto se reduce cuando el crecimiento bacteriano excesivo consume el oxígeno disponible. (Morales, 2017).

#### **2.6.3.1.2 Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5)**

La demanda bioquímica se le considera como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias durante cinco días a 20 °C. Es utilizado para determinar la contaminación de aguas domésticas en términos de la cantidad de oxígeno descargado en cuerpos naturales en donde prevalecen condiciones aeróbicas (Urgilez, 2016).

#### **2.6.3.1.3 Nitrito (NO<sub>2</sub>) y nitrato (NO<sub>3</sub>)**

El alto contenido de nitratos, típicamente de la descarga de las plantas de aguas residuales y la escorrentía agrícola, es problemático porque estimula el crecimiento planctónico y de algas, lo que puede conducir a la eutrofización (Wu, Yun Zhen *et al.*, 2017).

#### **2.6.3.1.4 Fosfato (PO<sub>4</sub>)**

El fósforo (P), son bio-nutrientes, siendo necesarias para el crecimiento vegetal, por lo tanto, si existe un abundancia de fosfatos ocasionaría la eutrofización, mismo que presentando un incremento de algas que producen toxinas en el organismo, y una drástica disminución de oxígeno disuelto en el agua (Pauta *et al.*, 2017).

### **2.6.4.1 Parámetros bacteriológicos de la calidad del agua**

#### **2.6.4.1.1 Coliformes Totales**

Los coliformes totales son indicadores de la contaminación del agua; mismo que pueden ser de origen fecal de humanos y animales.

#### **2.6.4.1.2 Coliformes Fecales**

Los coliformes fecales o considerados también bacterias patógenas, para obtener datos de este parámetros se requiere la aplicación de métodos estandarizados en el laboratorio como es la incubación, lo que permitirá establecer si el agua es de buena o mala calidad (Matovelle, 2017).

## **2.7 Índices de la calidad del agua**

### **2.7.1 Índice de calidad ICA según Brown**

Brown determina que la calidad del agua depende de algunos elementos primordiales en función al uso del agua es por ello que define la capacidad del agua respecto a los usos prioritarios que este

puede tener, el índice propuesto Brown WQI (Water Quality Index), este índice nos permite medir los comportamientos o cambios en la calidad del agua en los diferentes tramos de los ríos mediante transcurra el tiempo, lo que permite ir comparando los datos en cada tramo del río y obteniendo valores los cuales nos ayudaran a establecer diferentes medidas. (*ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,”* 2017).

### **2.7.2 Índice de calidad “ICA” según Horton**

Horton establece que el uso del índice de calidad “ICA” nos permitirá obtener esquemas o escenarios de contaminación acuática, es por ello que Horton utiliza diez variables, Este índice se utiliza para un determinado propósito en donde se revela los cambios estos pueden ser físicos-químicos en el recurso hídrico (Urgilez, 2016).

### **2.7.3 Índice de calidad “ICA” según Oregón (OWQI)**

Este índice es manejado para determinar el estado de calidad del agua, mismo que analiza un grupo de variables, que por ende generan valores que pueden asemejarse a la realidad en condiciones de calidad tanto en espacio y tiempo entre los distintos tramos del río. El WQI es utilizado para la eficacia de gestión de calidad del agua, e ilustra la necesidad de la aplicación de prácticas de protección (Pauta *et al.*, 2017).

## ***2.8 Riesgo se sequia***

### **2.8.1 Riesgo de sequía a partir de la calidad del agua**

El riesgo de sequía que se puede presentar en el recurso hídrico mismo que producen un cambio tanto en la calidad y cantidad del recurso hídrico lo cual puede producir:

- Exterminio de peces por anoxia (falta de oxígeno)
- Aumento familias invasoras
- Desarrollo intensivo de algas
- Cambios considerables en la diversidad de especies tanto en su composición y numero

Un parte importante conlleva en análisis del riesgo de sequía en base a la calidad del recurso hídrico es la flora y fauna por lo que permite determinar los impactos de la sequía en los cursos de agua, como por ejemplo, una considerable disminución de los caudales entrantes y circulantes que

puede ocasionar una reducción en la disponibilidad de los recursos hídricos durante un tiempo prolongado, generando una desecación de algunos tramos del río de análisis, la reducción y degradación del hábitat de las especies acuáticas y de ribera, siendo como un efecto indirecto la pérdida de calidad del agua (Greenpeace España, 2017).

Este riesgo puede verse alterada longitudinalmente en aguas-arriba y aguas-abajo, horizontalmente esto conllevaría el incumplimiento de los caudales ecológicos y la desecación temporal o espacial de los tramos del río durante la época de sequía.

En base a una determinada sequia si el aumento del nivel de nutrientes en el cuerpo de agua por falta de caudales puede causar el crecimiento rápido de algas, por lo que se requiere un análisis bien determinado para enfocarse en los parámetros fundamentales de sequía y calidad de agua para tener bases para formular una adecuada metodología (Greenpeace España, 2017).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

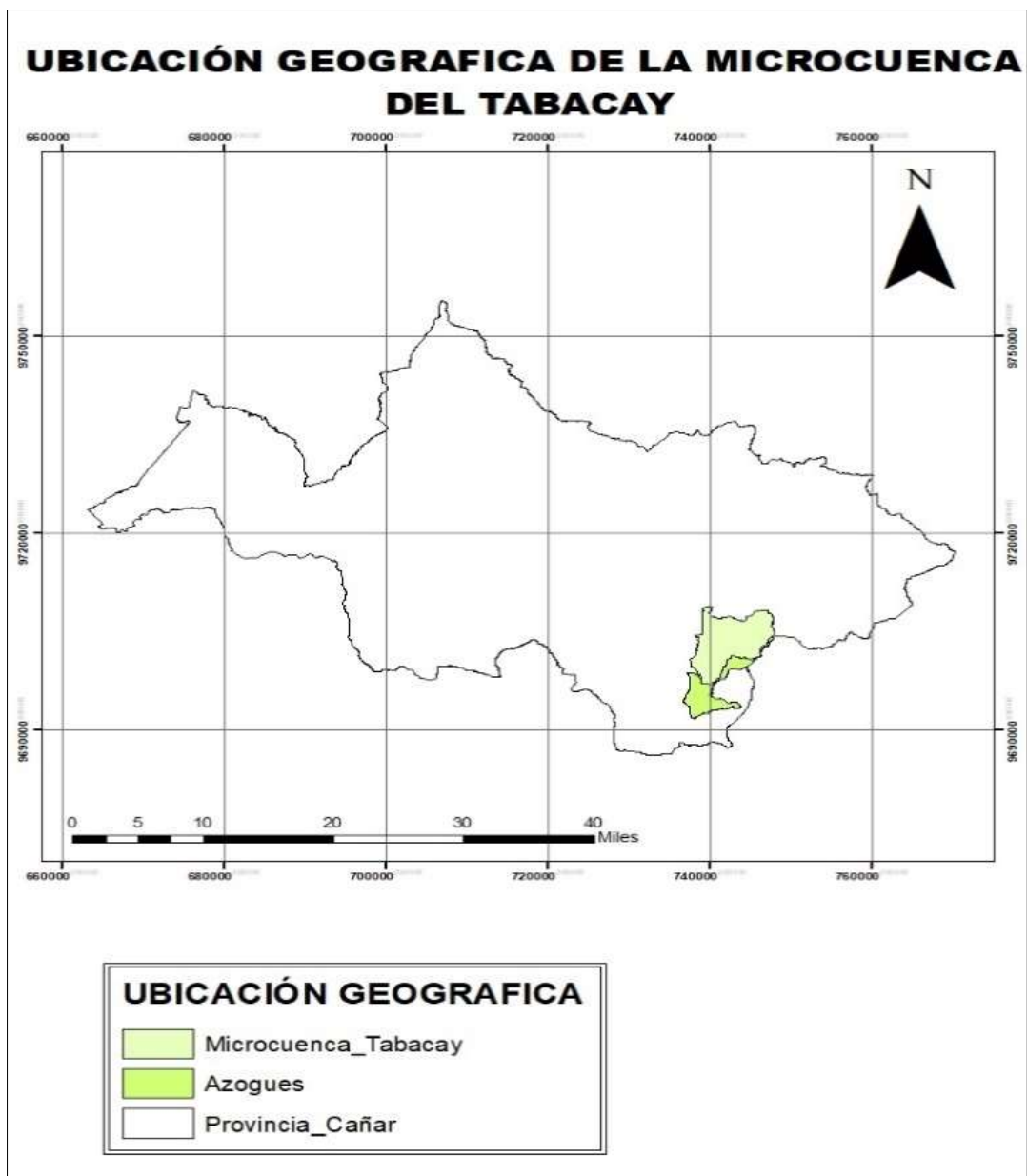
En este capítulo se desarrolló un estudio exploratorio descriptivo de la microcuenca del río Tabacay de la ciudad de Azogues, en base a ello se obtuvo la siguiente información:

- Recopilación de información secundaria: datos de precipitación y caudales recolectados por la empresa encargada EMAPAL EP de la ciudad de Azogues.
- Caracterización morfo-métrica de la microcuenca.
- Salidas de campo y fotointerpretación.
- Análisis de la información in-situ.
- Digitalización de mapas temáticos.

#### *3.1 Delimitación de la zona de estudio*

##### 3.1.2 Ubicación

La microcuenca del río Tabacay, pertenece a la subcuenca del río Burgay, cuenca del río Paute. Se encuentra entre las coordenadas planas UTM 737600 – 748220 Este y 96980100 – 9709310 Norte. Su altitud va desde los 2490 hasta los 3730 msnm. Consta de un área total de 67,72 km<sup>2</sup> y un perímetro de 44,06 km.



**Figura 5:** Ubicación geográfica de la microcuenca del Tabacay

**Fuente:** Autor

Es una zona de importancia significativa para el cantón Azogues por sus quebradas de captación hídrica para el consumo humano y riego como, por ejemplo: Llaucay, Nudpud, Condoryacu, Mapayacu y Rosario. Por ende, estas quebradas son de vital importancia por lo que abastece a la ciudad de Azogues, por esta razón resulta de gran importancia precautelar la disponibilidad del agua tanto en calidad y cantidad para el uso de las presentes y futuras generaciones.



**Tabla 4.** Superficie de las quebradas de la microcuenca.

<b>Quebradas</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetros(km)</b>
<b>Llaucay</b>	17,53	23,17
<b>Nudpud</b>	13,75	19,75
<b>Condoryacu</b>	10,65	19,45
<b>Mapayacu</b>	4,28	10,49
<b>Tabacay</b>	21,49	21,60
<b>Tabacay Total</b>	67,72	44,06

**Fuente:** (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, 2017)

**Elaboración:** Propia

### **3.1.3 Clima**

Azogues por su ubicación en la región interandina, presenta un clima templado-frío, moderadamente húmedo, con una temperatura que oscila entre los 12 y 15 grados centígrados, y una temperatura máxima de 25 y 28 grados centígrados. Sin embargo, al transcurrir el tiempo el clima ira variando tanto en la época fría como en la calurosa.

### **3.1.4 Población**

La población que pertenece a la microcuenca misma que se encuentran ubicados en el área de estudio generando a su vez un “enfoque participativo” tanto de la comunidad y el manejo adecuado de la microcuenca, y por ende se genera políticas para el uso y protección de los recursos estos pueden ser: recurso hídrico, recursos naturales, donde las circunstancias de aprovechamiento del recurso de vital importancia que es el agua se vuelven cambiantes con el pasar de tiempo.

### 3.1.3 Características morfo-métricas

Para el análisis morfo-métrico de la microcuenca se realizó la aplicación de procedimientos a través del estudio de la morfología y geomorfología con valores numéricos lo cual permite comparar en forma exacta una parte de la superficie con otra. Es por ello que se requieren fórmulas empíricas que a partir de los datos de campo y software ArcGis, el mismo que permite crear datos geográficos.

*Tabla 5. Parámetros morfo-métricos de la microcuenca del Tabacay.*

<b>PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA MICROCUENCA DEL RIO TABACAY</b>		
<b>DESCRIPCION DE LA SUPERFICIE</b>	<b>UND</b>	<b>VALOR</b>
<b>ÁREA DE LA MICROCUENCA</b>	km <sup>2</sup>	66,850
Perímetro de la microcuenca	km	44,580
<b>COTAS DE LA MICROCUENCA</b>		
Cota máxima de la microcuenca	msnm	3760
Cota mínima de la microcuenca	msnm	2520
<b>CENTROIDE DE LA MICROCUENCA</b>		
X centroide de la microcuenca	m	743528,18
Y centroide de la microcuenca	m	9703515,18
Z centroide de la microcuenca	msnm	3188,26
<b>ALTITUD DE LA MICROCUENCA</b>		
Altitud media de la microcuenca	msnm	3188,26
Altitud más frecuente de la microcuenca	msnm	3088,33
Altitud de frecuencia media de la microcuenca	msnm	3154,08

---

<b>PENDIENTE DE LA</b>		
<b>MICROCUEENCA</b>		
Pendiente de la microcuenca	%	24,41
<b>RED HIRDRICA DE LA</b>		
<b>MICROCUEENCA</b>		
Longitud del curso principal de la microcuenca	km	15,21
Orden de la Red Hídrica de la microcuenca	unidad	4
Longitud de la Red Hídrica de la microcuenca	km	192
Pendiente del cauce principal de la microcuenca	m/km	81,52

---

Fuente: Autor

Las características morfométricas determinan la evaluación de los parámetros que nos ayudan a establecer el funcionamiento adecuado del sistema hidrológico, identificando las diversas formas y procederes en la superficie en relación de los eventos hidrológicos, para un manejo adecuado del área delimitada.

**Parámetros de Forma.** - determina las características dimensionales de la microcuenca lo cual nos permite pronosticar el comportamiento de la red hídrica desde su punto de origen hasta el desagüe

**Parámetro de relieve.** - se establece la forma más eficiente del comportamiento hídrico, es por ello que si existe más pendiente o relieve la generación de escorrentía es obtenida en tiempo menores.

El área de la microcuenca se obtuvo en base a la superficie en proyección horizontal, la cual es delimitada por las líneas divisoras de agua, en base a la dimensión del área de la microcuenca se puede establecer la forma en base al coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

$$(2) \quad Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

P= Perímetro

A= Área

Aplicando la formula se obtiene un valor de 1,5 lo que quiere decir que la microcuenca tiene forma oval o redonda a oval, la longitud del cauce es la distancia que se obtiene del rio principal hacia el punto más lejano, la pendiente es aquella que determina la infiltración del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía.

#### 3.1.4 Puntos de monitoreo

La empresa EMAPAL EP de la ciudad de azogues mediante salidas de campo establecen los puntos de monitoreo para el análisis de la calidad del recurso hídrico, los cuales se encuentran cerca de las quebradas de la microcuenca del rio Tabacay garantizando la interacción de factores biofísicos y la calidad del agua. La empresa cuenta con 4 puntos de muestreo emplazados dentro la microcuenca.

*Tabla 6. Coordenadas de las quebradas de la microcuenca.*

Quebradas	Coordenadas		Altura (msnm)
	X	Y	
Llaucay	743626	9703528	2880
Nudpud	743692	9704152	2890
Condoryacu	741346	9705295	2983
Mapayacu	741415	9704041	2948

**Fuente:** (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, 2017)

**Elaboración:** Propia

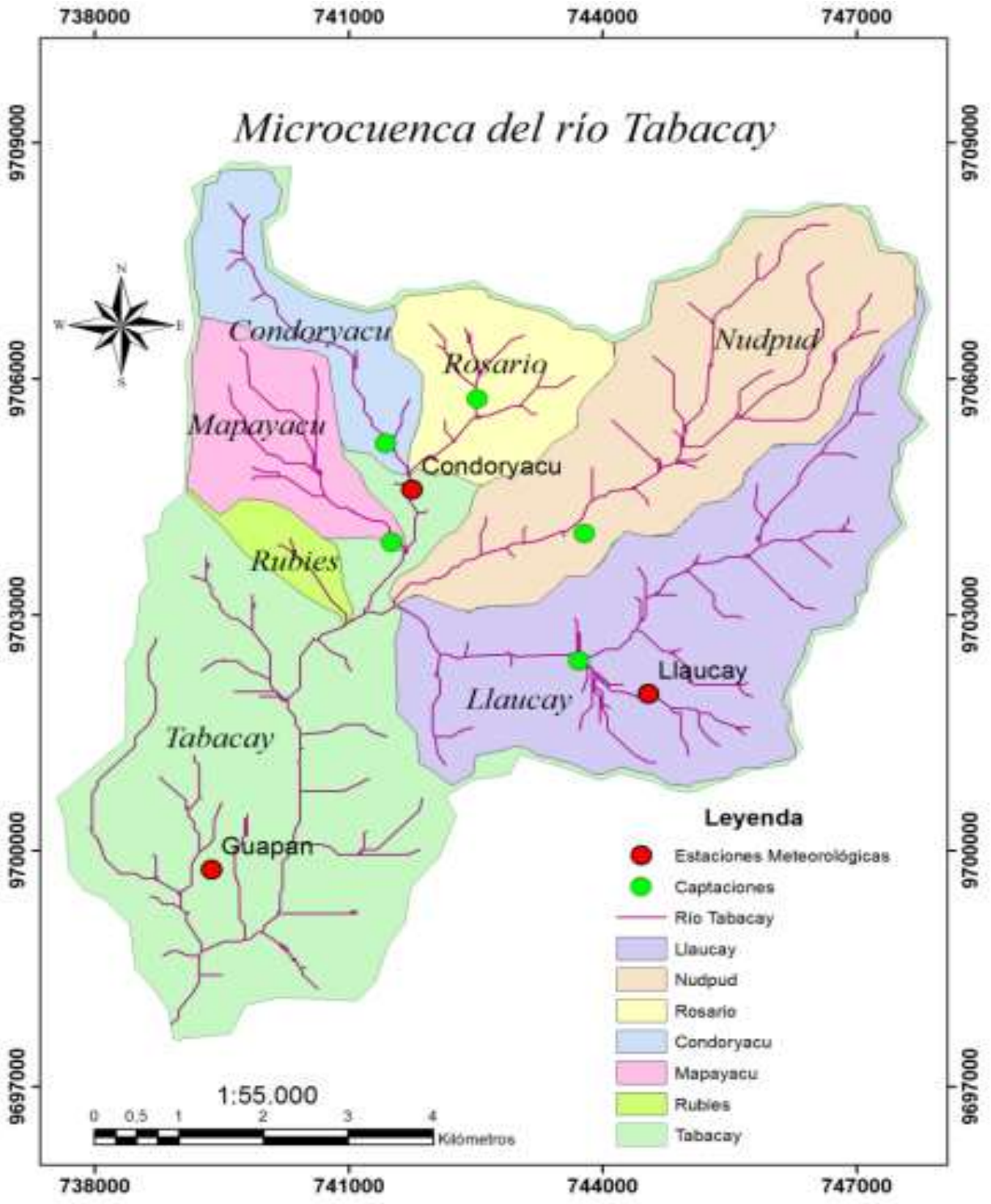


Figura 6: Punto de nuestros de la calidad del recurso hídrico dentro de la microcuenca del río Tabacay

Fuente: Autor

**Tabla 7.** Ubicación de las quebradas de la microcuenca.

<b>Quebradas</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altura</b>	<b>Detalle</b>	<b>Ubicación</b>
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>(m.s.n.m)</b>		
<b>Llaucay</b>	744400	9702114	2980	Pluviógrafo	Llaucay
<b>Nudpud</b>	746459	9705417	3230	Climatológica	Voluntad de Dios
<b>Condoryacu</b>	741649	9704709	2899	Pluviógrafo	Captación de Condoryacu
<b>Rubíes</b>	741161	9703086	2748	Sensor de nivel	Quebrada Rubíes

**Fuente:** (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, 2017)

**Elaboración:** Propia

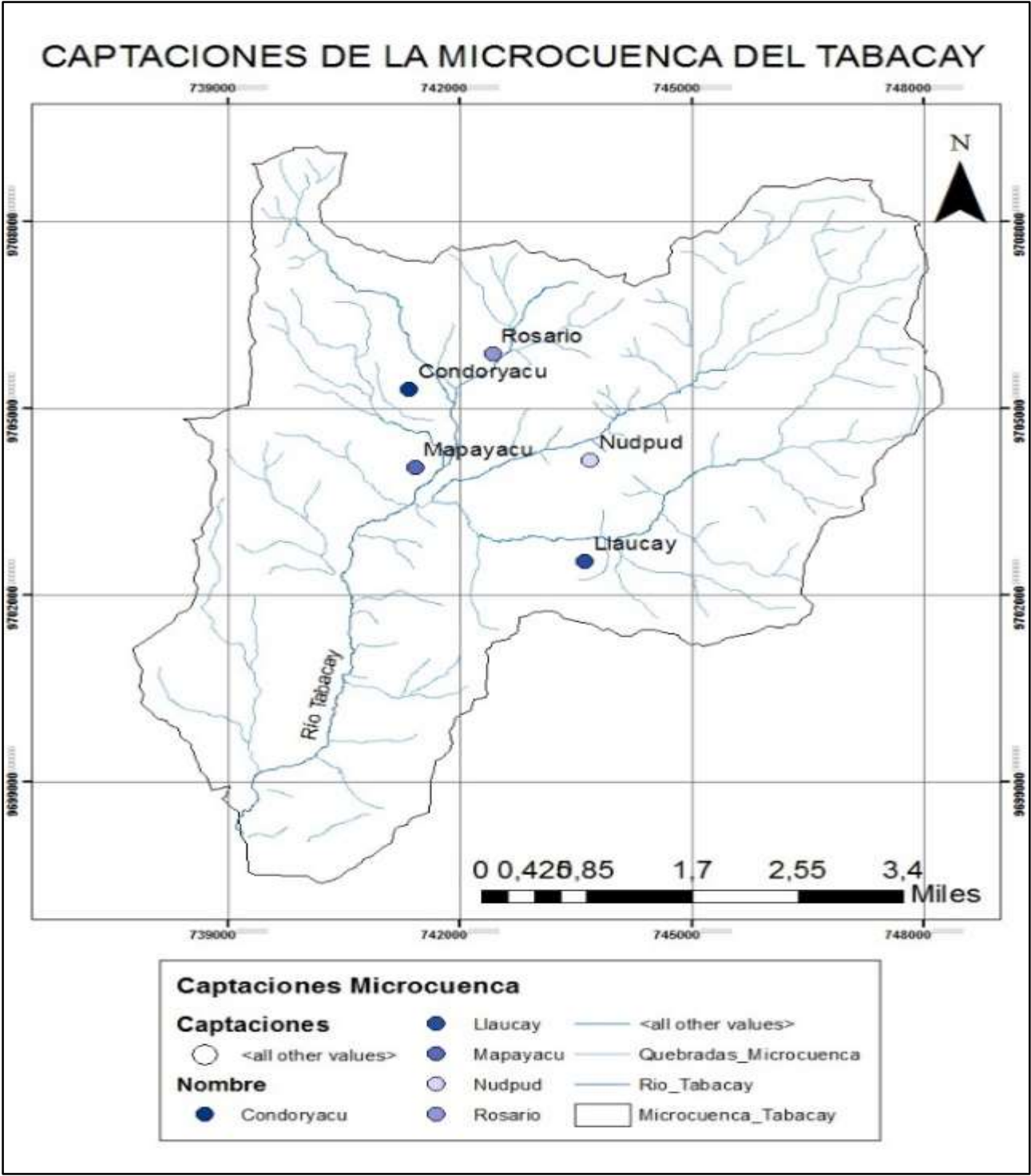


Figura 7: Ubicación de las captaciones de la microcuencia del Tabacay

Fuente: Autor

### 3.1.5 Captaciones de la empresa EMAPAL EP.

#### 3.1.5.1 Captación de Nudpud

Es una captación superficial, con un diseño de 40 l/s en la actualidad abastece a la planta de tratamiento en el sector de Mahuarcay.



*Figura 8: Captación de Nudpud*

**Fuente:** Propia



*Figura 9: Quebrada de Nudpud*

**Fuente:** Propia



### 3.1.5.2 Captación de Llaucay

Es una captación de tipo convencional, con un de diseño de 70l/s sustentando a la planta de tratamiento de Mahuarcay.



*Figura 10: Captación de Llaucay*

*Fuente: Propia*



*Figura 11: Quebrada de Llaucay*

*Fuente: Propia*

### 3.1.5.3 Captación de Condoryacu

Condoryacu se encuentra ubicada en la quebrada de Condoryacu sector de Tabacay con un caudal de diseño de 27,3l/s misma que provee a la planta de tratamiento de Uchupucún.



*Figura 12: Captación de Condoryacu*

*Fuente: Propia*



*Figura 13: Quebrada de Condoryacu*

*Fuente: Propia*

#### **3.1.5.4 Captación de Mapayacu**

Esta captación se encuentra en la quebrada de Mapayacu con un caudal de 10,3 l/s que suministra a la planta de tratamiento de Uchupucún.



*Figura 14: Captación de Mapayacu*

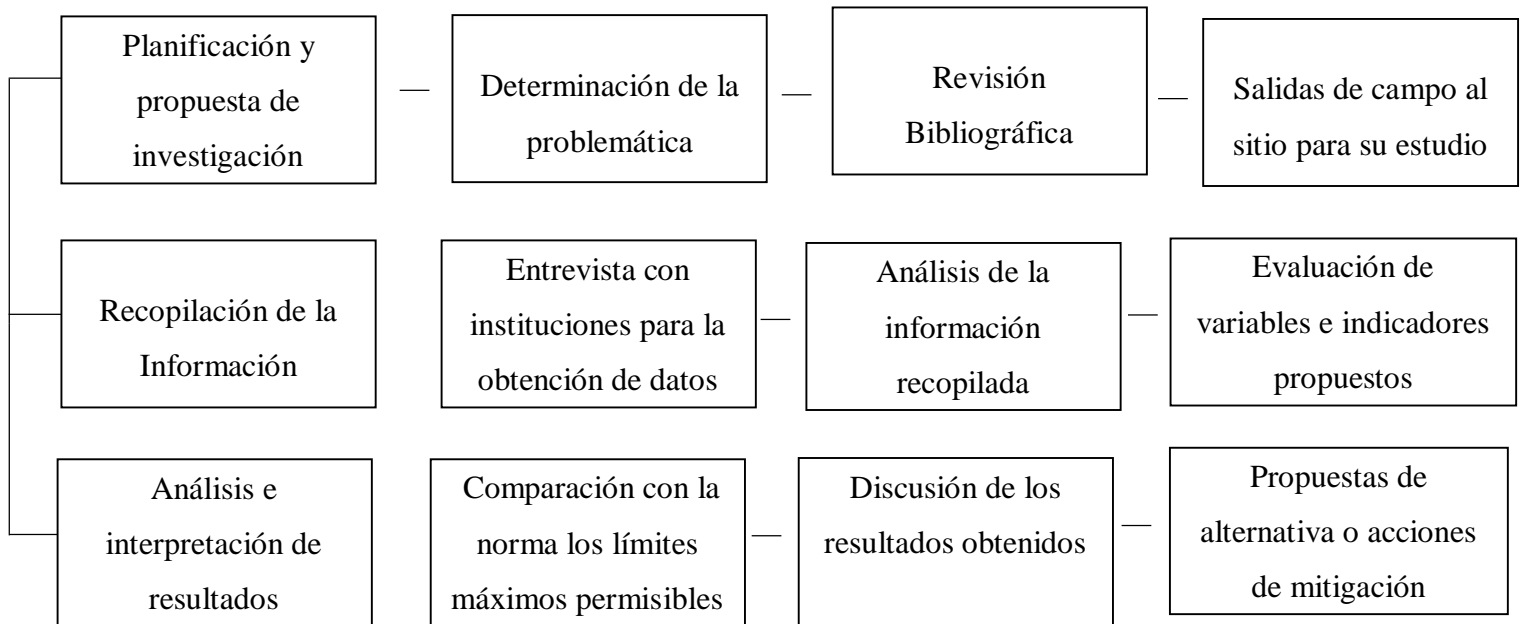
*Fuente: Propia*



*Figura 15: Quebrada de Mapayacu*

*Fuente: Propia*

### 3.2 Esquema del proceso metodológico



### 3.3 Metodología aplicada para la calidad del agua

La metodología que se empleó para la obtención de los índices de sequía y de la calidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay de la ciudad de Azogues.

Es por ello que se aplicó el índice de calidad propuesto por Brown “WQI” (Water Quality Index) estableciendo un sistema en donde permite comparar los cambios que se genera en los distintos tramos del río calidad del agua la determinación del ICA interviene nueve parámetros (*ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,”* 2017), los cuales son:

**Tabla 8.** Parámetros de la calidad del agua

Parámetro	Unidad
Coliformes Fecales	NMP/100 mL
pH	pH






Demanda Bioquímica	DBO5 en mg/ L
de Oxígeno en 5 días	
Nitratos	NO3 en mg/L
Fosfatos	PO4 en mg/L
Cambio de la	°C
Temperatura	
Turbidez	FAU
Sólidos disueltos	mg/ L
totales	

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.1 Evaluación del índice de calidad de agua general “ICA”

El índice “ICA” en condiciones óptimas obtendrá un valor máximo de 100, mismo que al transcurrir el tiempo va ir disminuyendo en base al aumento de la contaminación que va existiendo en el transcurso del río. Para determinar el cálculo el índice de calidad de agua se clasificara de la siguiente manera tabla 9 (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017).

Tabla 9. Clasificación de los valores “ICA” Calidad del agua.

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

Para el cálculo del Índice de Brown se utiliza la suma lineal ponderada de los subíndices (ICAa):

$$(3) \quad ICAa = \sum_{i=1}^9 (Subi * wi)$$

$$(4) \quad ICAm = \prod_{i=1}^9 (Subi^{wi})$$

Donde:

w<sub>i</sub>: Pesos relativos asignados a cada parámetro

Sub<sub>i</sub>: Subíndice del parámetro i

por ende, se establece los pesos para los nueve parámetros que se detallan a continuación en la tabla 10.

**Tabla 10.** Obtención de los pesos relativos para cada parámetro del “ICA” calidad del agua.

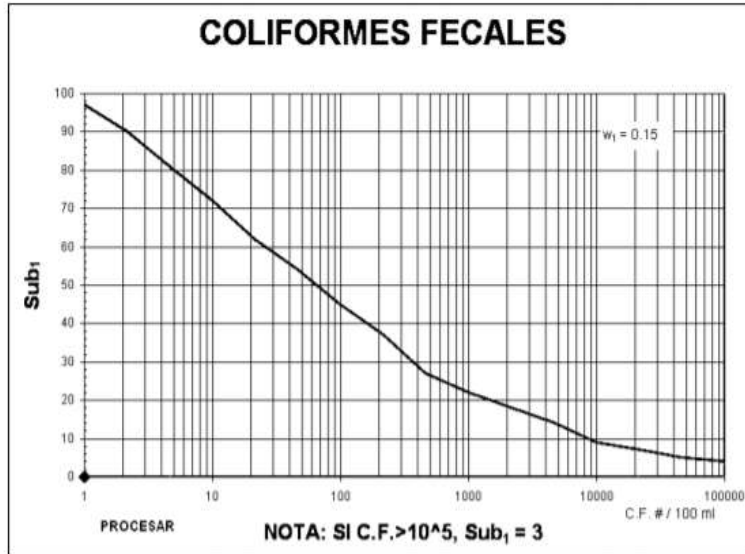
<b>i</b>	<b>Sub<sub>i</sub></b>	<b>w<sub>i</sub></b>
<b>1</b>	Coliformes Fecales	0.15
<b>2</b>	pH	0.12
<b>3</b>	DBO <sub>5</sub>	0.10
<b>4</b>	Nitritos	0.10
<b>5</b>	Fosfatos	0.10
<b>6</b>	Temperatura	0.10
<b>7</b>	Turbidez	0.08
<b>8</b>	Sólidos disueltos Totales	0.08
<b>9</b>	Oxígeno Disuelto	0.17

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.2 Determinación del (Sub<sub>i</sub>) de los diferentes parámetros

#### 3.3.2.1 Coliformes fecales

Si los coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3. O si el valor es menor se procedió a buscar el valor en el eje de las (X) e interpolar al valor en el eje de las (Y) para encontrar el valor Sub<sub>1</sub>.

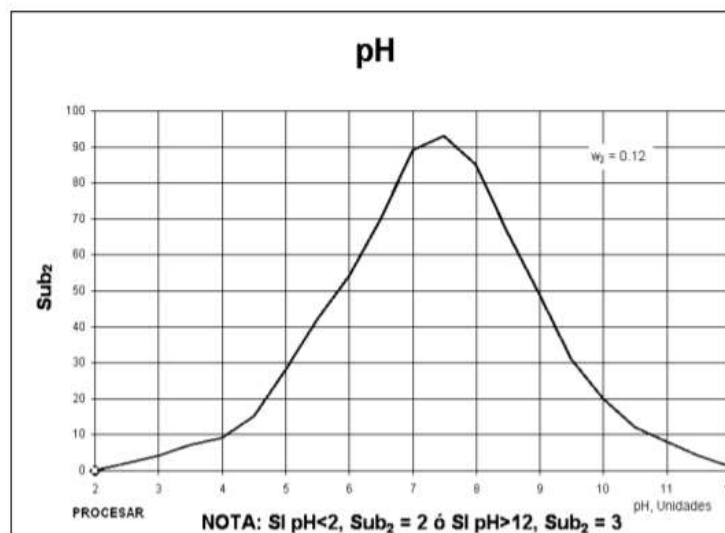


**Figura 16:** Evaluación de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales.

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.2.2 Potencial de hidrogeno

Si el pH es o igual a 2 unidades el (Sub2) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub2) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).



**Figura 17:** Valoración de la calidad de agua en función del Potencial de Hidrogeno.

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Si la DBO5 es mayor de 30 mg/L el (Sub3) es igual a 2. Si la DBO5 es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

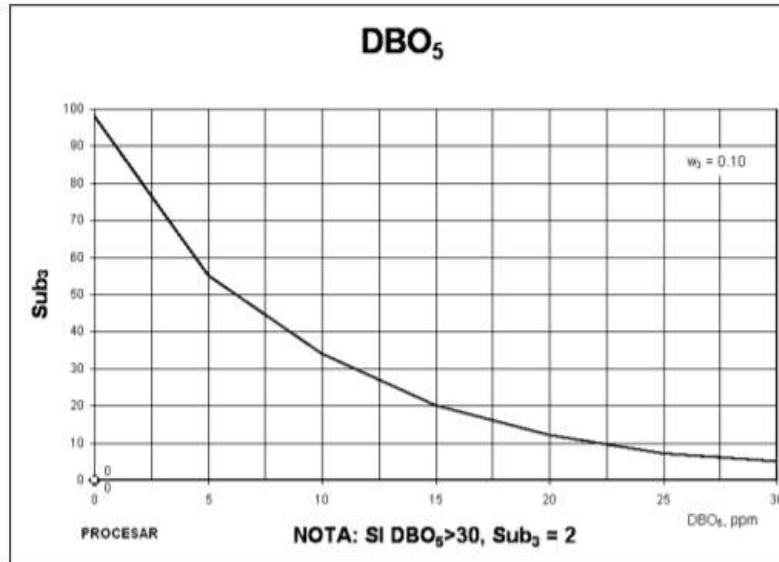


Figura 18: Valoración de la calidad de agua en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA," 2017)

### 3.3.2.4 Nitratos

Si el Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

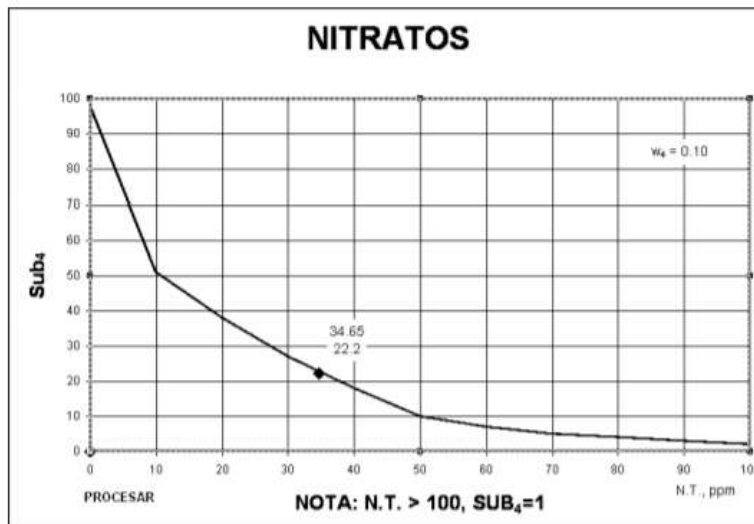


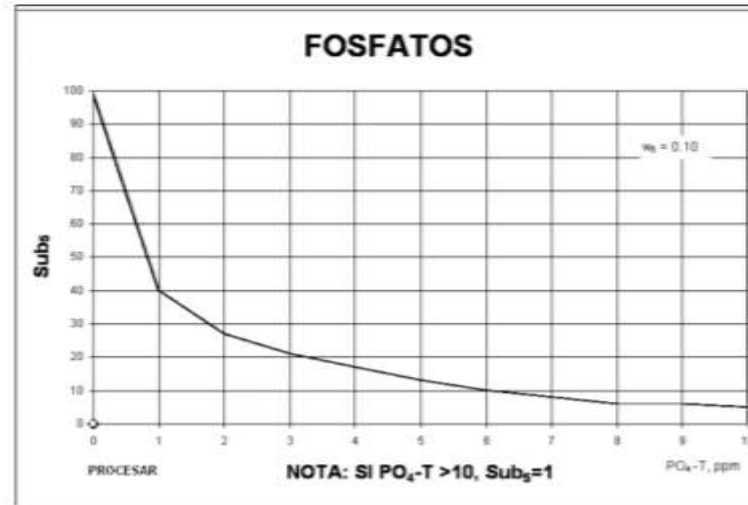
Figura 19: Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos.

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA," 2017)



### 3.3.2.5 Fosfatos

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub5) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

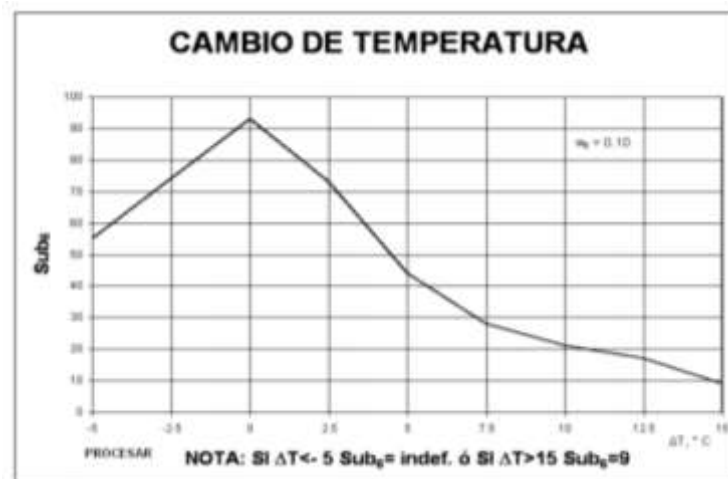


**Figura 20:** Valoración de la calidad de agua en función de los Fosfatos.

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.2.6 Temperatura

Para el parámetro de Temperatura (Sub5) primero hay que calcular la diferencia entre la T°ambiente y la T°Muestra y con el valor obtenido. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub5) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).



**Figura 21:** Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,” 2017)

### 3.3.2.6 Turbidez

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub7) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

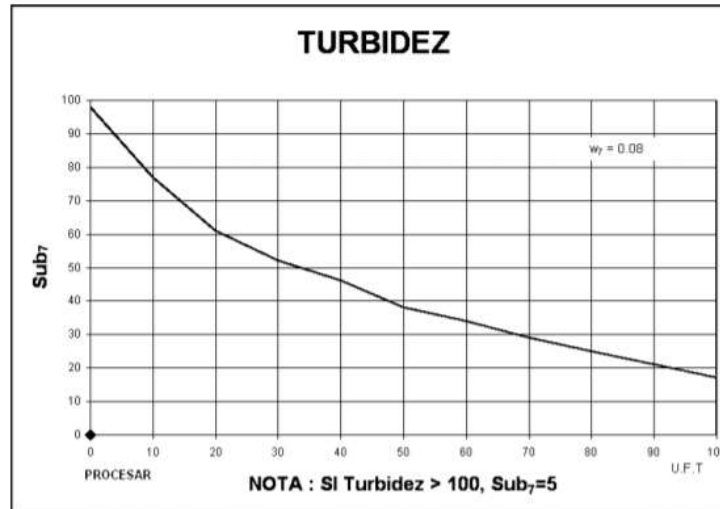


Figura 22: Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez.

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA," 2017)

### 3.3.2.6 Sólidos Disueltos Totales

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).

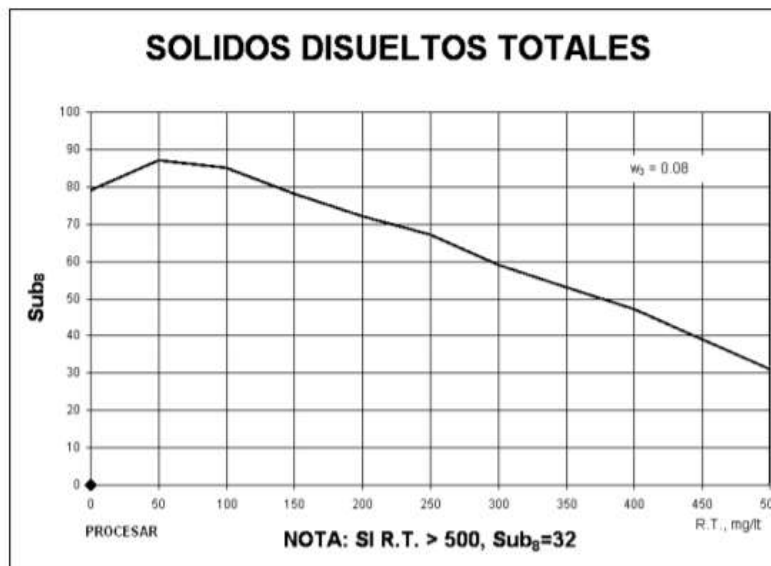
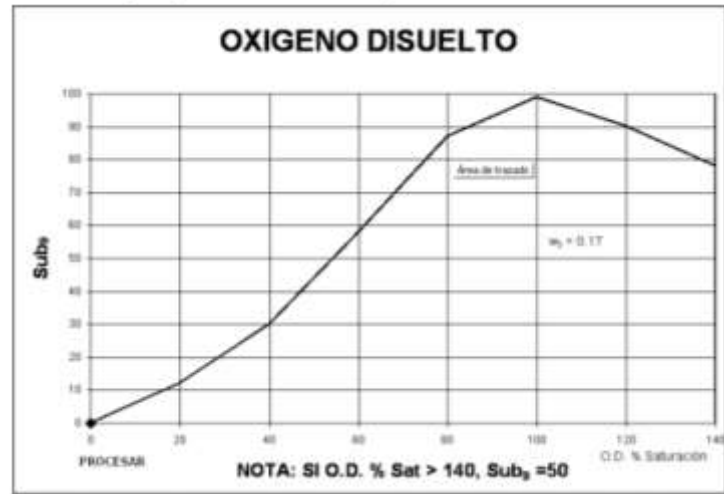


Figura 23: Valoración de la calidad de agua en función de los Sólidos Disueltos Totales.

Fuente: (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA," 2017)

### 3.3.2.6 Oxígeno de Saturación

Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub9) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X), se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).



**Figura 24:** Valoración de la calidad de agua en función del porcentaje de Saturación del Oxígeno Disuelto.

**Fuente:** (ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA," 2017)

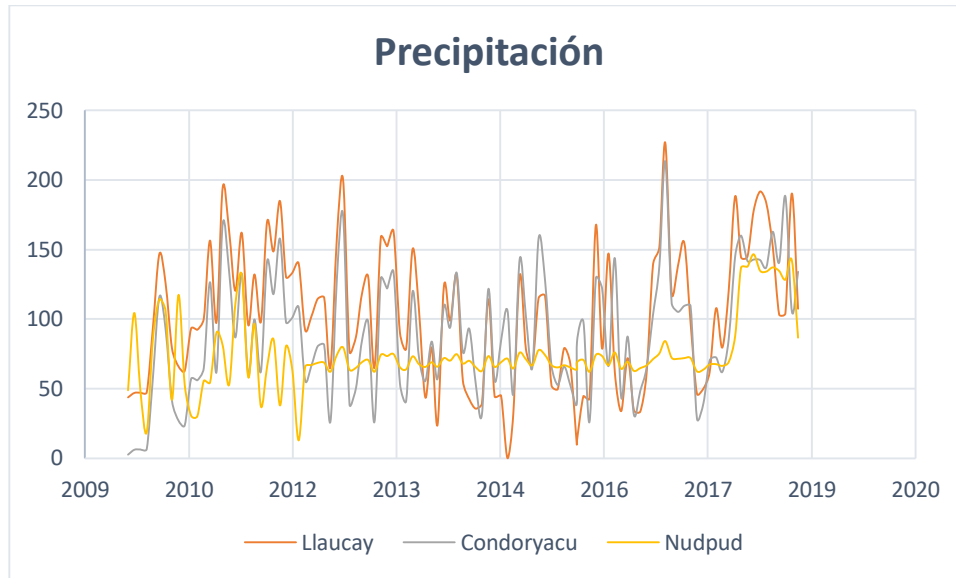
## 3.4 Variabilidad hidro-química de la microcuenca

La microcuenca es un sistema integral donde las precipitaciones se unen para formar una red hídrica que abarca los cursos superficiales y la estructura hidrogeológica subterránea.

Es por ello que, microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar a un cauce principal de una subcuenca que a su vez termina en una cuenca.

### 3.4.1 Datos de precipitación

A partir de la información hidrológica en formato de shape-file de la cartografía base determino las estaciones meteorológicas en el área de estudio de la microcuenca del río Tabacay, con la ayuda del software Arc Gis y Excel con los datos que nos proporcionaron, de las quebradas de Nudpud, Llaucay, Condoryacu y Guapán los técnicos de la empresa EMAPAL EP de Azogues. Los datos obtenidos se pueden observar en la figura 23.



**Figura 25:** Datos de Precipitación de la Microcuenca del río Tabacay.

**Fuente:** (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, 2017)

La revisión de datos de las estaciones reveló series de datos a escala mensual para las estaciones de Nudpud, Guapán, Condoryacu y Llaucay durante los años 2010 hasta el 2018, 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.

El estado de los datos para las estaciones Condoryacu y Llaucay posibilita su evaluación para los para los años de análisis; por lo que en la estación Nudpud se obtiene algunos espacios vacíos por la falta de información a lo largo del año 2015 con un 5,47% para el año 2014 y un 15.49% de datos, sin embargo, a una determinada correlación se obtuvo los datos faltantes para esos años con la aplicación de la correlación de datos, las precipitaciones obtenidas mimas que pueden ser evaluadas tanto como variabilidad temporal y espacial de cada estación de monitoreo.

### 3.4.2. Variabilidad temporal

Para cada una de las estaciones de monitoreo se estableció una breve variabilidad temporal en los años de análisis denotando que en Llaucay, existe dos períodos lluviosos durante los meses de febrero a mayo en 2017 el cual se extiende hasta junio en 2018, al transcurrir el tiempo se observa que, en el mes de octubre en 2019, se obtiene resultados similares Buytaert *et al.*, (2006). En algunos meses se registra una notable disminución de lluvias durante los meses de febrero, agosto,

0 50 100 150 200 250 2009 2010 2012 2013 2014 2016 2017 2019 2020 Precipitación Llaucay Condoryacu Nudpud - 51 - septiembre y noviembre mostrando las cantidades más bajas de precipitación, lo que quiere decir que se representaría como una época seca. En el punto de captación de Condoryacu, se determina un comportamiento igual en cuanto a las estaciones lluviosas, con la significativa diferencia que dura hasta el mes de agosto, cabe recalcar que en esta 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. Para la estación de Nudpud como se mencionó anteriormente existió datos faltantes en el año 2015 y 2014 es por ello que se realiza un análisis con los datos existentes, denotando época lluviosa durante los meses de marzo a julio del 2012 pero a partir del 2013 al 2017 presenta lluvias en la totalidad del año, extendidas de hasta cinco meses como máximo y de tres como mínimo, también hay meses picos de lluvia en el año 2018. 3.4.3. Variabilidad espacial Para determinar la variabilidad espacial de la microcuenca de las precipitaciones, se obtiene que la estación de Condoryacu para el año 2014 consta de 90,32 mm, y para el mismo año de análisis en Nudpud se registra 87,8 mm y para Llaucay hay 78,68 mm, esto se repite con los datos de 2016 en el mismo período de tiempo Condoryacu alcanza un valor de 98,01mm y mientras que en Llaucay llovió 78,67mm. Por ende, lo que quiere decir que espacialmente las precipitaciones anuales para la estación de Condoryacu son mayores y mientras que para Nudpud y Llaucay va disminuyendo. (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

### ***3.5 Obtención del índice de sequía meteorológica***

#### **3.5.1 Análisis de datos de precipitación**

Antes de iniciar un trabajo estadístico con las bases de datos climatológicas, se consideró la calidad de los datos, debido a que existen en algunos meses datos faltantes, por fallas del equipo mismo que nos comentaron los técnicos de la empresa EMAPAL EP, por ello requiere un tratamiento estadístico para determinar si la serie climática cumple con los criterios mensuales de precipitación de las 3 estaciones pluviométricas ubicadas en la microcuenca del Tabacay por un periodo de 8 años (2010-2018). Para construir una base de datos fiable se aplicó los siguientes pasos:

1. La selección de estaciones que reúnen los requisitos de calidad y el rellenado de datos faltantes en las series. Partiendo de la base de datos se realizó un control de la información proporcionada, notando cierta escasez en algunas estaciones pluviométricas.
2. Para rellenar estos datos se aplicó el método de Regresiones Lineales con Excel y comprobaciones en el software Rstudio en el cual se estimó datos mensuales de una estación de estudio, en base a datos pluviométricos observados en una estación cercana (Rivera, 2014). Se establece una correlación como esta:

$$(5) \quad Y = a + bX$$

Dónde:

Y: valor de precipitación estimada

X: valor de precipitación en estaciones con información completa

a y b: constantes de regresión

### 3.5.2 Estudios realizados de los índices de sequía meteorológica

El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE, o SPI por sus siglas en inglés) cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación es por ello que varios autores analizan las ventajas y desventajas de ambas distribuciones en distintas regiones, es por ello que para el cálculo del SPI por McKee et al. 1993, se realizado en algunos trabajos como, por ejemplo: Blain (2011) para San Pablo (Brasil), Wu *et al.* (2007) y Guttman (1999) para Estados Unidos y Kumar *et al.* (2009) para India.

Otros autores recomiendan el uso de la Gamma, por ejemplo, Thom (1968) para Estados Unidos, Lloyd-Hughes y Saunders (2012) para Europa y Angelidis *et al.* (2012) para Portugal. En algunos casos, no se encuentran diferencias entre estas dos distribuciones (Soto *et al.* (2016) para México). El CRC-SAS utiliza la distribución Gamma debido a que ajusta adecuadamente las distribuciones empíricas de totales de precipitación para la mayoría de meses/estaciones consideradas, y además porque requiere solamente dos parámetros: alpha ( $\alpha$ , parámetro de forma) y beta ( $\beta$ , parámetro de escala)

### 3.5.3 Escalas temporales del índice de precipitación estandarizado (SPI)

En base a la información obtenida tanto de datos de precipitación y datos bibliográficos se puede establecer la aplicación del SPI por McKee *et al*, 1993 mismo que se puede ajustar a la realidad y es sencillo y flexible de calcular, siendo necesario un único dato que es la precipitación, aplicando el programa "spi.exe". Este índice se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales mismas que pueden ser mensuales, trimestrales, semanales, anuales dando como resultado la flexibilidad para representar la naturaleza multiescalar de las sequías con análisis del "SPI1", "SPI3", "SPI6", "SPI12" y reflejar el impacto en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos (Mundial, 2012).

- **"SPI 1"** Nos indica las condiciones de humedad del suelo y refleja la condición de sequía inmediata generando valores tanto positivos como negativos (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).
- **"SPI 3"** Compara el total de precipitación de un período específico de 3 meses consecutivos. Este patrón espacial brinda la estimación estacional de la precipitación y refleja las condiciones de humedad a corto y mediano plazo (Servicio Meteorológico Nacional, 2010).
- **"SPI 6"** Relaciona la precipitación de un período de 6 meses, dando como resultado que este SPI resulta eficaz para indicar las tendencias de precipitación entre periodos estacionales de mediano plazo en la precipitación (Rivera, 2014).
- **"SPI 12"** Revela los patrones de precipitación de larga escala, representando la comparación de la precipitación para un período consecutivo de 12 meses respecto al mismo período para todos los años de datos y sus valores resultantes tienden a estar vinculados con las variaciones de los caudales. (VicenteSerrano & López-Moreno, 2005).

### 3.5.4 Clasificación de los valores del índice estandarizado de precipitación "SPI"

**Tabla 9.** Categorización del índice estandarizado de precipitación "SPI"

Valores del SPI	Interpretación	
2,0 o superior	Humedad extrema	
1,5 a 1,99	Muy húmedo	
1,0 a 1,49	Humedad moderada	
-0,99 a 0,99	Casi normal	

-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	
-1,5 a -1,99	Muy seco	
-2,0 o por debajo	Sequedad extrema	

Fuente: **Autor**

### 3.5.5 Metodología del índice estandarizado de precipitación SPI

Para el análisis de la microcuenca del río Tabacay se estableció el cálculo del “SPI3”, “SPI6” y “SPI12”, por lo que estas escalas temporales establecen valores acumulados, es decir el valor del mes en consideración sumado a los valores de los 2 meses, 5 meses, 11 meses anteriores. Los registros de datos luego son ajustados a una función de probabilidad gamma que es transformada en una distribución de probabilidad normal estandarizada. La distribución gamma se define por su función de densidad de probabilidad como:

$$(6) \quad G(X) = \frac{1}{\beta\alpha R(\alpha)} X^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

Donde  $x > 0$ ,  $x$  es la variable, (en este caso la precipitación); es un parámetro de escala,  $> 0$ ;  $\alpha$  es un parámetro de forma de la curva,  $\alpha > 0$ ; es la función gamma la cual está definida como:

$$(7) \quad r(a) = \int_0^a y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función de densidad de probabilidad Gamma se calcula para cada escala temporal de acuerdo al interés que se tenga, las cuales pueden ser: 1, 3, 6, 9, 12, 24, etc. meses y para cada uno de los meses del año. Edwards & Mckee (1997) sugieren la estimación de estos parámetros utilizando la aproximación de Thom (2010) para una máxima probabilidad por medio de las siguientes ecuaciones:

$$(8) \quad \partial = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

Los parámetros que se obtienen se los utiliza para encontrar la probabilidad acumulada de un evento de precipitación para un mes o cualquier otra ventana de tiempo.

$$(9) \quad H(X) = u + (1 - u)G(x)$$



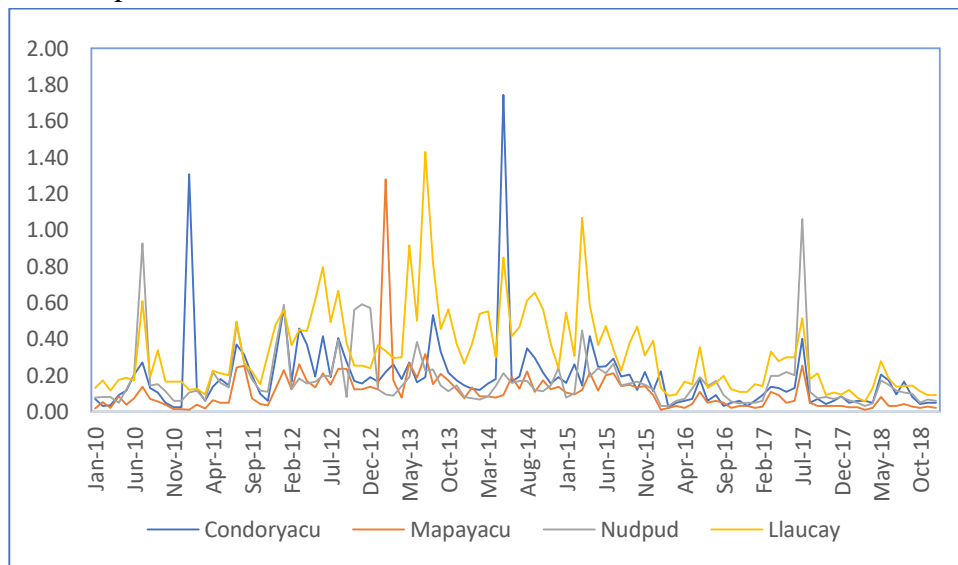
Debido a que la función gamma es indefinida para valores de  $x = 0$  y dado que la precipitación puede tener valores nulos, la probabilidad acumulativa se convierte en:

Donde  $u$  es la probabilidad de que ocurra una precipitación de cero,  $1 - u$  es la probabilidad de que no ocurra precipitación nula. La probabilidad acumulada  $H(x)$ , se transforma a la probabilidad normal acumulada del Z score (con una media de cero y una varianza uno) que es la que representa el valor del SPI.

### 3.6 Obtención del índice de sequía hidrológica

#### 3.6.1 Análisis de los datos de Caudales

La variabilidad temporal de los caudales de los ríos



**Figura 26:** Datos de caudal de la microcuenca del río Tabacay.

**Fuente:** (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, 2017)

En base a los datos obtenidos de los caudales mensuales de los puntos de captación de la microcuenca del río Tabacay se puede establecer que la quebrada de Condoryacu genera en los años de análisis caudales entre  $0,20 - 1,60 \text{ m}^3/\text{s}$ , y Llaucay genera en los caudales entre  $0,3 - 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , Mapayacu obtiene valores de caudales en los años de análisis entre  $0,4 - 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$  y mientras que Nudpud obtiene valores de caudales entre  $0,30 - 1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.6.2 Estudios realizados para la obtención del índice de sequía hidrológica

Algunos estudios realizados en las diferentes, cuencas, microcuencas para la obtención de los índices estandarizados utilizados, como, por ejemplo, en estudios de proyecciones futuras de sequías con el análisis de tendencias y variabilidades (Lovino *et al.*, 2014; Vicente-Serrano *et al.*, 2015). No obstante, en función de la disponibilidad de registros mensuales de las variables necesarias para la obtención de los índices estandarizados SPEI, ICE (Rivera & Penalba, 2018). para la caracterización de sequías desde el punto de vista hidrológico. Bianchi *et al.* (2017) utilizaron el ICE para identificar las relaciones entre la laguna de Llanquihue (ubicada al sur de la provincia de Mendoza, Argentina) y las fluctuaciones de los caudales del río Malargüe (Rivera & Penalba, 2018) analizaron el efecto de la variabilidad multidecadal en la aplicabilidad del ICE sobre el centro-norte de Chile. Por último, Rivera y Penalba (2017) utilizaron el ICE para realizar un análisis espacio-temporal de los eventos de sequías en 46 cuencas cuantificando los principales eventos de sequía hidrológica entre 1961 y 2006 y las tendencias en el ICE.

### 3.6.4 Metodología del del índice de precipitación hidrológica ICE

El ICE representa la cantidad de desviaciones estándares a partir de la cual un valor de caudal se encuentra por encima o por debajo del promedio climatológico. Para su obtención, las series de caudales mensuales mismo que se puede establecer en series temporales de 3,6,12 meses representando el comportamiento de los caudales en la región de estudio (Rivera & Penalba, 2018) Para la obtención del índice se establece la siguiente fórmula:

$$(10) \quad ICE = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$$

Donde:




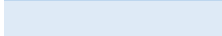
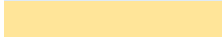


$$(11) \quad W = \sqrt{-2 \ln(P)}$$

P es la probabilidad de exceder un determinado valor x, y P=1, por lo tanto si P>0.5, P se reemplaza por 1-P y el signo de ICE se invierte. Teniendo como constantes C0=2.5155; C1=0.8028; C2=0.0103; d1=1.4327; d2=0.18926; d3=0.00130

Por lo tanto:

Los valores positivos del ICE indican caudales por encima de los valores medios, mientras que valores negativos determinan periodos secos. El ICE fue calculado mediante el paquete SCI en Rstudio, con series temporales de 1,3,6,12 meses.

**Tabla 10.** Categorización del índice estandarizado de caudal “ICE”

Valores del ICE	Interpretación	
2,0 o superior	Humedad extrema	
1,5 a 1,99	Muy húmedo	
1,0 a 1,49	Humedad moderada	
-0,99 a 0,99	Casi normal	
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	
-1,5 a -1,99	Muy seco	
-2,0 o por debajo	Sequedad extrema	

Fuente: Autor

El ICE fue calculado mediante el paquete SCI en R, desarrollado por Gudmundsson y Stagge (2016) y ampliamente utilizado para el cálculo de índices estandarizados, en las series temporales de 1,3,6,9,12 meses.

- “ICE 1” Nos indica las condiciones del caudal del río generando valores tanto positivos como negativos.
- “ICE 3” Caudales en un período específico de 3 meses consecutivos. Este patrón espacial brinda la estimación a corto y mediano plazo.
- “ICE 6” Caudales en períodos de 6 meses, dando como resultado los caudales entre periodos estacionales de mediano plazo.
- “ICE 12” caudales a larga escala, representando un período consecutivo de 12 meses respecto al mismo período para todos los años de datos.

### 3.7 Análisis de la Vulnerabilidad en la microcuenca del río Tabacay

Para determinar el análisis de la vulnerabilidad a los desastres naturales, y por lo tanto existen muchas aproximaciones para su estimación. Cabe señalar que el uso de indicadores mismo que nos permitirán usar técnicas tanto cuantitativas y cualitativas dependiendo del área de estudio y los datos que se obtenga de dicha área. para evaluar la vulnerabilidad de una comunidad a verse impactada por la sequía, agrupándolos en tres componentes, en relación a los factores previamente revisados(Rivera, 2017):

- Ambiental, o la susceptibilidad del medio natural a la escasez de agua,

- Productiva, referido a los aspectos de los sistemas de producción silvoagropecuaria que inciden en una mayor vulnerabilidad frente a la sequía, y
- Socioeconómica, relacionada con los aspectos que incrementan la vulnerabilidad de los habitantes rurales a verse afectados por la sequía

### 3.7.1 Evaluación de la vulnerabilidad de la microcuenca

La microcuenca de río Tabacay tiene una superficie de 6650 hectáreas (66.5km<sup>2</sup>), consta de pendientes que oscilan entre 30-45% y > 45% (E & Peter Lang, 2016), por ende es muy importante para el análisis hidrológico, determinando la velocidad media de la escorrentía, su fuerza de arrastre y la erosión que puede tener la microcuenca, los tipos de suelo que presente en su mayor parte es de Umbric Andosol con el 59,6% en una área de 3966 ha mismo que se encuentra ubicado en la parte alta y frías de la microcuenca mismo que está cubierto de pajonal o bosque nativo el cual ayuda a la capacidad de retención del agua (más del 100% de su peso), por otra parte existe otro tipo de suelo que altera las características y por ende genera el cambio en la cobertura vegetal nativa provocando el incremento de la frontera agrícola, agropecuaria y la degradación química y biológica disminuyendo la capacidad de respuesta del suelo arrastrando primero la materia orgánica y luego la capa arable o utilizable por la vegetación para su soporte y alimentación.

Los deslizamientos y erosión en la microcuenca se establecen que las quebradas de Condoryacu y Mapayacu presentan movimientos de masa en toda su extensión debido a su geomorfología que no se encuentra en estado de equilibrio en cuanto a sus pendientes, es por ello que genera una cantidad de sedimentos por la inestabilidad.

El agua actualmente administrada por la empresa de agua potable y alcantarillado de azogues EMAPAL EP, el agua de las quebradas de Condoryacu, Mapayacu, Nudpud, Llaucay es conducida hasta las plantas de tratamiento ubicada en Bayas donde es distribuida para el consumo de la ciudad, para la industria Guapán S.A y respectivamente para riego de las comunidades cercanas.

La población que conforman la microcuenca por las parroquias de Guapán con el 80% conta de 4000 habitantes entre hombre y mujeres, y Bayas con el 70% de su superficie misma que está constituida por 2.991 habitantes con el 57% hombres y 43% de mujeres mediante el último censo

y por ende también se puede determinar la migración de las personas de las comunidades con un 60%.

La educación se caracteriza por ser en su conjunto poblacional eminentemente rural En lo referente a la educación media, la muestra destaca que, del total, el 33% de hogares tienen un miembro que asiste a centros de educación media; el 42% de hogares tiene dos que asisten a centros de educación media.

Servicios básicos el 93% de las viviendas constan de servicio eléctrico, 21% poseen servicio telefónico, 26% recibe el servicio de recolección de basura, el 24% realizan sus necesidades de evacuación a campo abierto ya el que 18% tiene el acceso a la red pública de desalojo de excretas en las parte media y baja de la microcuenca y por ende contaminan los afluentes del río.

Abastecimiento de agua 45% de los hogares poseen en sus domicilios agua entubada, por su parte el 13% agua proveniente de acequias y el 10% de los ríos y quebradas, mientras que el 8% se abastece de pozos o vertientes.

Aspectos económicos está determinada por las actividades ligadas a las producción agrícola y pecuaria, con el 57% a la actividad agrícola, con el 16% actividad pecuaria y el 5% en actividades agropecuarias.

En la microcuenca la salud de los pobladores se tiene que las enfermedades de tipo pulmonar con el 46% y respiratoria del 34%.de vital importancia destacar las infecciones especialmente de carácter gástrico, que contabilizan el 15%, a las que hay que sumar las parasitosis que constituye el 15%; estas últimas muy relacionadas con el consumo de agua.

El clima se obtiene valores promedio en un periodo largo mismo que oscilan entre los 14 y 16 grados centígrados dependiendo tanto de la parte alta como la parte baja (E & Peter Lang, 2016).

Las precipitaciones tienen una distribución regular máximo en los meses de marzo y octubre y mínimo en agosto y en la parte alta presenta máximas precipitaciones en el mes de junio y julio y mínimos en noviembre, la precipitación anual en la parte alta es de 1210mm y en la parte baja es de 860 mm, la evapotranspiración mismo que se encuentra en el cultivo de referencia (pastos) tiene

una distribución normal en la parte baja con un promedio de 78 mm/mes y en la parte alta 67mm/mes

La tierra mismo que involucra el suelo y las características de su entorno como es la topografía, el uso que se haga, análisis de la pendiente mismas que superan el 12% de inclinación es por ello que predomina las pendientes mayores del 45% mismas que son utilizadas para la agricultura como, por ejemplo: el maíz considerado como monocultivo.

La flora en la microcuenca es agua por la constante agresión al ecosistema en beneficio de intereses económicos con la deforestación indiscriminada, expansión de la frontera agropecuaria, quema de la masa forestal nativa, sustitución de la vegetación nativa por especies exóticas con el eucalipto y el pino, actividades como la producción de leña y carbón, por este motivo se deben diseñar proyectos para proveer alternativas de producción sustentables y sostenibles.

La fauna silvestre en la microcuenca está prácticamente desaparecida por lo que no existen mamíferos grandes y una nutrida diversidad de aves, actualmente sólo se mencionan esporádicos avistamientos de aves y pequeños mamíferos que se refugian en los relictos de bosques que aún no han sido destruidos.

Riesgos naturales se puede mencionar la presencia de una acelerada erosión geológica en las quebradas Mapayacu y Condoryacu. Esta erosión tiene proporciones considerables y es muy difícil lograr su estabilización y por ende seguirá generando efectos de la erosión especialmente sobre la carga de sedimentos en los ríos y la calidad del agua.

Riesgos antrópicos están principalmente relacionados con la construcción de infraestructura vial y el uso inadecuado de las tierras para producción agropecuaria, incorporación de nuevas áreas a la explotación, quema y tala de la cobertura natural sobre suelos superficiales por ende se vuelven inestables.

#### 3.7.1.1 Metodología para la determinación de la vulnerabilidad

El sistema de indicadores propuesto se basa en el modelo conceptual planteado, el cual identifica la exposición, fragilidad y capacidad de adaptación y respuesta como factores de vulnerabilidad, los cuales a su vez presentan una serie de componentes. En este sentido, para cada una de las

variables se ha establecido una escala de valoración y unas convenciones, como se indica en la tabla 11 (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017).

**Tabla 11.** Escala de valoración y convenciones para las variables y componentes de los factores de vulnerabilidad.

Categoría	Valor	Convención
Bajo	1-2	
Medio	3-4	
Alto	5-6	

Fuente: Propia

La vulnerabilidad es función de la exposición, fragilidad y la capacidad de adaptación es por ello que se propone estimar la vulnerabilidad en función a estos tres factores, en este trabajo se optó por la manera aritmética simple misma que nos permite esquematizar y obtener valores representativos y fácil de evaluar.

**Tabla 12.** Funciones para la estimación de la Vulnerabilidad.

Tipo de Vulnerabilidad	Función
Vulnerabilidad Total(V)	$V = \frac{VE + VF + VCA}{3}$ <p>Vulnerabilidad (V)</p> <p>Vulnerabilidad de exposición (VE)</p> <p>Vulnerabilidad de fragilidad (VF)</p> <p>Vulnerabilidad determinada por capacidad de adaptación (VCA)</p>
Vulnerabilidad por exposición (VE)	$VE = \frac{VEE + VEI + VESP + VEP}{4}$

---

	Vulnerabilidad por exposición a los ecosistemas (VEE)
	Vulnerabilidad por exposición a la infraestructura (VEI)
	Vulnerabilidad por exposición a los sistemas de producción (VESP)
	Vulnerabilidad por exposición a la población (VEP)
<b>Vulnerabilidad por fragilidad (VF)</b>	$VF = \frac{VFSE + VFA + VFI + NDEF}{4}$
	Vulnerabilidad por fragilidad física (VFF)
	Vulnerabilidad por fragilidad socioeconómica (VFSE)
	Vulnerabilidad por fragilidad ambiental (VFA)
<b>Vulnerabilidad determinada por la capacidad de adaptación</b>	Vulnerabilidad por fragilidad institucional (VFI)
	Nivel o grado de deforestación (NFEF)
	$VCA = \frac{VCAyRPR + VCAyGGT}{2}$
	Vulnerabilidad determinada por percepción del riesgo (VCAyRPR)
	Vulnerabilidad determinada por la gobernanza y capacidad de gestión territorial (VCAyGGT)

---

**Elaboración:** Propia

Análisis de los componentes, variables por medir y criterios de evaluación mismo que se establecen con criterios basados en el plan de manejo integral de la microcuenca de río Tabacay y salidas a la zona de estudio.



### 3.7.1.1.1 Vulnerabilidad por Exposición

**Tabla 13.** Componentes, variables y criterios de evaluación para la obtención de la vulnerabilidad por exposición.

Componente		VARIABLES DE MEDICIÓN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
<b>Vulnerabilidad por exposición de ecosistemas (VEE)</b>	Localización	Bosque natural	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza y vulnerabilidad alta (3) puntos
		Humedales	
		Páramo	
<b>Vulnerabilidad por exposición de infraestructura (VEI)</b>	Localización	vías de comunicación	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza y vulnerabilidad media (2) puntos
		energía eléctrica, alcantarillado	
		escuelas, centro de salud, mataderos	
<b>Vulnerabilidad por exposición de población (VEP)</b>	Localización	Viviendas	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza y vulnerabilidad media (2) puntos
<b>Vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción (VESP)</b>	Localización	Cultivos, producción pecuaria, plantaciones forestales, comercial, recreativa	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza y vulnerabilidad media (3) puntos

Elaboración: Propia

### 3.7.1.1.2 Vulnerabilidad por fragilidad

**Tabla 14.** Componentes, variables y criterios de evaluación para la determinación de la vulnerabilidad por fragilidad.

Componente		VARIABLES DE MEDICIÓN	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
------------	--	-----------------------	-------------------------

<b>Vulnerabilidad por fragilidad socio-económica (VFSE)</b>	Condiciones de vida de la población		Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad media (2) puntos
<b>Vulnerabilidad por fragilidad ambiental (VFA)</b>	Equilibrio en la relación sociedad-naturaleza (degradación de base ecosistémica y practicas productivas)	Conflicto por uso suelo deforestación variación de temperatura y precipitación	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad alta (3) puntos
<b>Vulnerabilidad por fragilidad física (VFF)</b>	Característica estructurales y estado de mantenimiento	Viviendas, infraestructura y servicios	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad media (2) puntos
<b>Vulnerabilidad por fragilidad institucional (VFI)</b>	Grado de riesgo de corrupción de las entidades públicas y locales	Índice de transparencia de las entidades publicas	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad media (2) puntos

Elaboración: Propia

### 3.7.1.1.3 Vulnerabilidad por la capacidad de adaptación

*Tabla 14. Componentes, variables y criterios de evaluación para la determinación de la vulnerabilidad mediante la capacidad de adaptación.*

<b>Componente</b>	<b>variables de medición</b>		<b>criterios de evaluación</b>
<b>Percepción del riesgo (RPR)</b>	Nivel de prioridad dado a la gestión del riesgo	Percepción de la comunidad, y de la institucionalidad	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad media (2) puntos

<b>Gobernanza y capacidad de gestión territorial (RGT)</b>	Existencia, pero no aplican la implementación de planes estratégicos, en base al componente de gestión de riesgo	POT, Plan de desarrollo, Estudios de riesgo y vulnerabilidad y amenaza)	Elementos expuestos en zonas de nivel de amenaza vulnerabilidad media (2) puntos
--	--	---	--

Elaboración: Propia

### 3.8 Metodología para el análisis del riesgo

Para la obtención del riesgo que puede generar en la microcuenca del río Tabacay en la calidad y cantidad del recurso hídrico que es de vital importancia porque es una fuente primordial para el abastecimiento de la ciudad de Azogues es por ello que se requiere el análisis de la siguiente fórmula:

$$(12) \quad R = A \times V$$

Donde:

A= Amenaza, misma que se le considera para su cálculo mediante el análisis de los índices de sequía hidrometeorológica.

V= Vulnerabilidad, se obtendrá a partir del análisis de la calidad del recurso hídrico de la microcuenca.

El resultado obtenido mediante la aplicación de la fórmula de sequía se puede clasificar en base a la siguiente tabla:

**Tabla 15.** Clasificación del riesgo

Clasificación	Riesgo	
<b>Bajo</b>	0 - 1	
<b>Medio</b>	1.5 - 2	
<b>Alto</b>	2 - 2.5	
<b>Critico</b>	3 - 5	

Elaboración: Propia

## IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### *4.1 Análisis y obtención de resultados del índice de sequía Meteorológica*

Para la microcuenca del río Tabacay se realizó los cálculos del índice estandarizado de precipitaciones (SPI) del año 2010-2018 en escalas temporales de 3, 6 y 12 meses en el software Rstudio con el comando SPI, mediante una representación gráficamente para su respectivo análisis, de cada captación, debido a sus características particulares, poseen una mayor sensibilidad a los cambios de precipitación, se ve reflejado la sequía a corto, medio y largo plazo. Según Vicario *et al* (2015)

Estudios realizados en la cuenca cercana la del río paute como la de (Valarezo, 2017), (Jheimy *et al.*, 2017) mismo que analizan series temporales de 3,6,12 meses que obtiene valores representativos y coherentes para el análisis estudio. Otros estudios realizados en Colombia en la cuenca del río Dagua-Colombia(Cerón *et al.*, 2015) de Los resultados de esta investigación en conjunto con Patel *et al* (2007) favorecen a la escala de análisis trimestral de SPI; se ha caracterizado por ser más eficaz en la captura de los patrones estacionales de sequías meteorológicas.

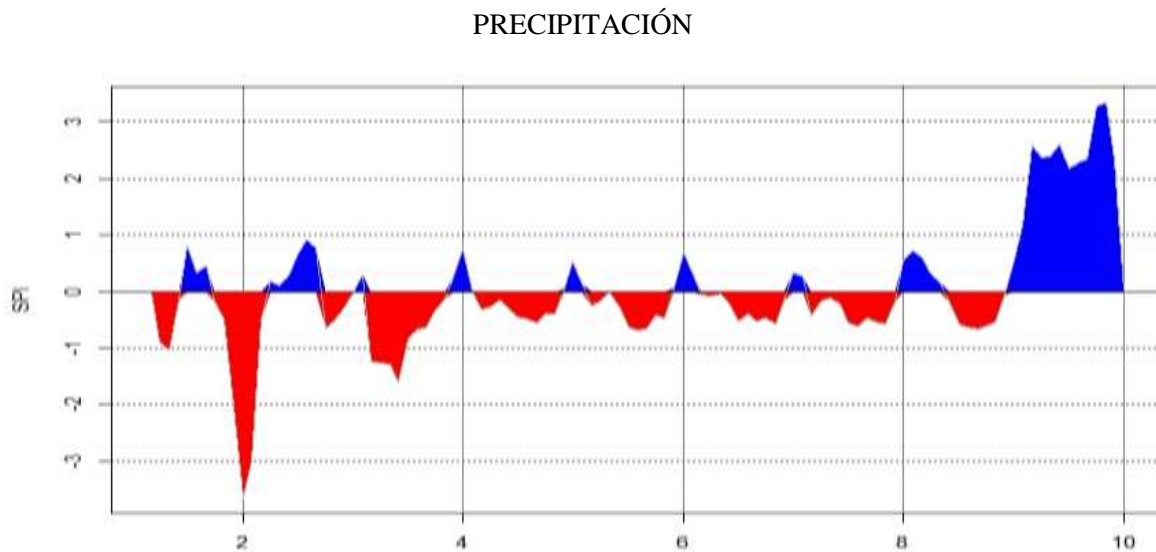
Por lo tanto, las escalas de análisis de SPI mismas que nos pueden revelar datos beneficios de gran utilidad que a su vez contribuyen a mejorar la planificación y gestión del recurso hídrico, como los sugeridos por Gocic & Trajkovic (2014) por medio del cálculo y caracterización de los parámetros de sequias a partir del SPI trimestral. Vicente-Serrano (2006) sugiere investigar por medio de análisis comparativos entre los índices de sequía basados en la precipitación.

##### 4.1.1 Análisis del índice de precipitación 3 meses de análisis de cada captación

El total de precipitación de un período específico de 3 meses consecutivos. Este patrón espacial brinda la estimación estacional de la precipitación y refleja las condiciones de humedad a corto y mediano plazo, el cual se tomará de referencia para el análisis de los gráficos en base a la tabla 10 (Servicio Meteorológico Nacional, 2010)

#### 4.1.1.1 Punto de captación meteorológica de Nudpud

En la captación de Nudpud (figura 24) se obtiene valores del índice de precipitación estandarizado (SPI) para la serie temporal de 3 meses, es por ello que se observó que gran parte del periodo registró presenta eventos de sequías. En los años 2010, 2014, 2015 y 2016 se registró en la estación eventos de sequías moderadas (- 1,00 a -1,49). Durante 2012, 2013 sequías severas (-1,50 a -1,99) y en 2011 sequías extremas con valores -2,00, y en los últimos años de análisis 2017 y 2018 se obtiene valores positivos es por ello que empieza la época extremadamente húmeda.



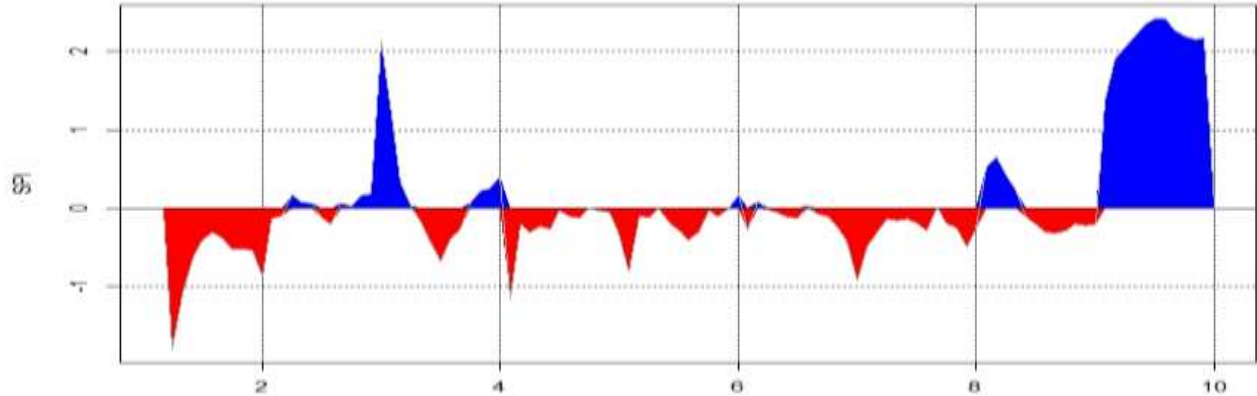
*Figura 27: Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Nudpud.*

Elaboración: Propia

#### 4.1.1.2 Punto de captación meteorológica de Condoryacu

En la estación meteorológica de Condoryacu (figura 25) se observó que gran parte del periodo registró eventos de sequías. En el año 2010, se registró en la estación eventos de sequías severa (- 1,00 a -1,99). Durante 2012, 2013 se determinó una época húmeda y en el año 2014, 2015 y 2016 sequías moderada (-1,0 a -0,99), en el año 2017 y 2018 retoma la época extremadamente humedad.

## PRECIPITACIÓN



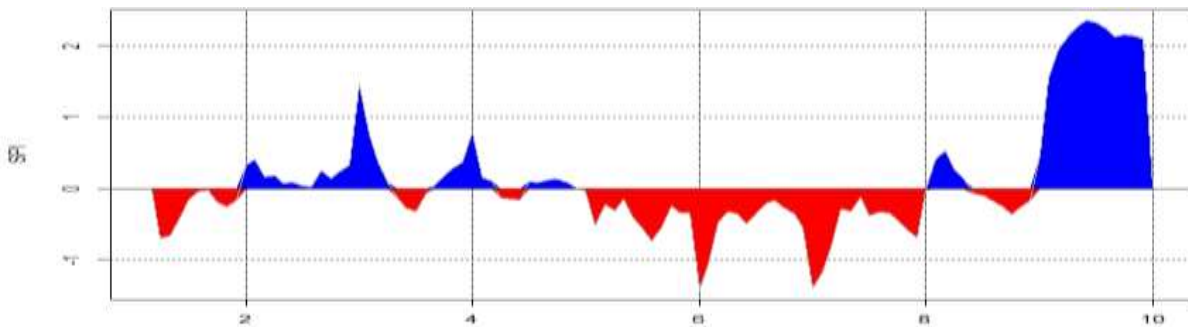
**Figura 28:** Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Condoryacu.

Elaboración: Propia

### 4.1.1.3 Punto de captación meteorológica de Llaucay

En el punto de captación de la estación de Llaucay (figura 26) se observó que no registro periodos de sequias extremas, por ende, registro sequias severas y moderadas en los años 2014, 2015 y 2016, con valores (-1,00 a -0,09). Pero en los años 2017 y 2018 se determinó una época extremadamente húmeda superando valores de 2.

## PRECIPITACIÓN



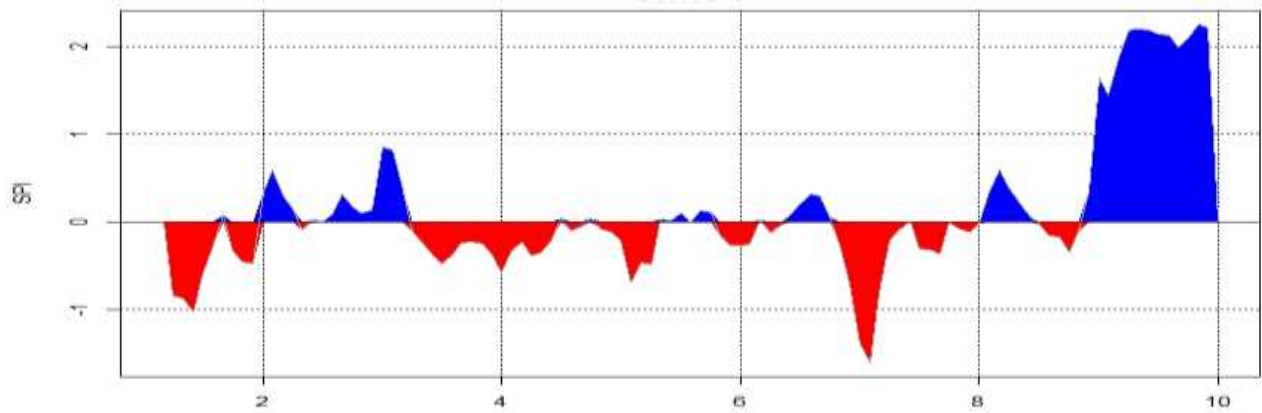
**Ilustración 29:** Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Llaucay.

Elaboración: Propia

### 4.1.1.4 Punto de captación meteorológica de Guapán

En el punto de monitoreo meteorológico de Guapán (figura 27) se obtuvo valores representativos en los años 2010, 2012, 2014 valores de sequía severa entre (-1,00 a -1,99), solo en el año 2015 toma valores de -1 por lo tanto se le considera moderadamente seco, y en los últimos años de análisis genera valores positivos con una humedad extrema

## PRECIPITACIÓN



*Figura 30: Análisis del índice de sequía meteorológica (SPI 3) de la captación de Guapán.*

Elaboración: Propia

Para el análisis de las series temporales de 6 y 12 se realizó el mismo procedimiento de la serie temporal de 3 meses, dependiendo de los valores que se obtenga se podrá determinar si la sequía que presentan dichas captaciones se les puede considerar tanto como: severas, moderadas o extremas, o por ende tome valores positivos denotando épocas húmedas o extremadamente húmedas, las series temporales de 6 y 12 meses se determinan en los **Anexos 1, 2, 3, 4, 5 y 6**.

Las series temporales de 6 meses, los valores del índice estandarizado de precipitaciones denotan una eficacia para las tendencias de precipitación entre periodos estacionales a mediano plazo, por ende, en la estación de Nudpud **Anexo 1** para el año 2011 la captación presenta una sequía  $> -2$  es decir presenta una sequía extrema, mientras que en los años 2013 presenta una sequía severa y los siguientes años una sequía moderada, pero en los años 2017 y 2018 generan una humedad extrema máxima.

Para las estaciones de Condoryacu, Llaucay y Guapán **Anexo 2, 3 y 4** en distintos años presentan una sequía severa y moderadamente seco mismos valores que se encuentran entre  $(-0.99$  a  $-1)$  y de  $-0.99$  a  $0.99$  casi normal. Pero para los años en todas las estaciones presentan una humedad extrema en los 2017, 2018, mismo que se puede determinar en la figura 23 que las precipitaciones de los años mencionados los datos que presentaron son considerablemente altos entre (2 o más).

El análisis de 12 meses el cual se obtiene valores de SPI valores de precipitación a largo plazo, es por ello que en la estación de Nudpud, Guapán y Llaucay **Anexo 5, 7 y 8** para los años de análisis presentan una sequía severa y moderadamente seco mismos valores que se encuentran entre (-0.99 a -1) y de (-0,99 a 0,99) casi normal. Y para los años 2017 y 2018 las estaciones presentan una humedad extrema. Pero a su vez en la estación de Condoryacu **Anexo 6** presenta en el año 2010 una sequía extrema con valores (menores -2), para los siguientes años se mantiene en una sequía moderada, y como en todas las estaciones para el año 2017 y 2018 alcanza valores positivos presentando una humedad extrema.

#### **4.2 Análisis y obtención de resultados del índice de sequía Hidrológica**

El índice estandarizado de Caudal ICE siglas en ingles SCI, en base a la metodología aplicada los resultados que se obtuvo se pueden establecer que la estructura similar como en el cálculo del SPI, pero a su diferencia se tomó datos de caudales, de la igual forma se aplicó el Software Rstudio con el comando SCI que nos ayudara a representar los datos gráficamente para un determinado análisis en series temporales de 3, 6 y 12 meses de los caudales de las captaciones.

studios realizados a su vez determinan proyecciones futuras de sequías con el análisis de tendencias y variabilidades(Vicente-Serrano et al., 2017) No obstante, en función de la disponibilidad de registros mensuales de las variables necesarias para la obtención de los índices estandarizados como por ejemplo (SPEI, SMRI, SGI),(Rivera & Penalba, 2018). para la caracterización de sequías desde el punto de vista hidrológico. Bianchi et al. (2017) utilizaron el ICE para identificar las relaciones entre la laguna de Llanquihue (ubicada al sur de la provincia de Mendoza, Argentina), Un estudio en la cuenca del rio paute se determinó el análisis de los índices del SPI e SSI por (Jheimy et al., 2017) mismo que se obtuvo ilustraciones y valores representativos de periodos secos y húmedos. Otro análisis de los caudales del río Malargüe(Rivera & Penalba, 2018) analizaron el efecto de la variabilidad multidecadal en la aplicabilidad del ICE sobre el centro-norte de Chile. Por último, (Rivera & Penalba, 2018) utilizaron el ICE para realizar un análisis espacio-temporal de los eventos de sequías en 46 cuencas cuantificando los principales eventos de sequía hidrológica entre 1961 y 2006 y las tendencias en el ICE.

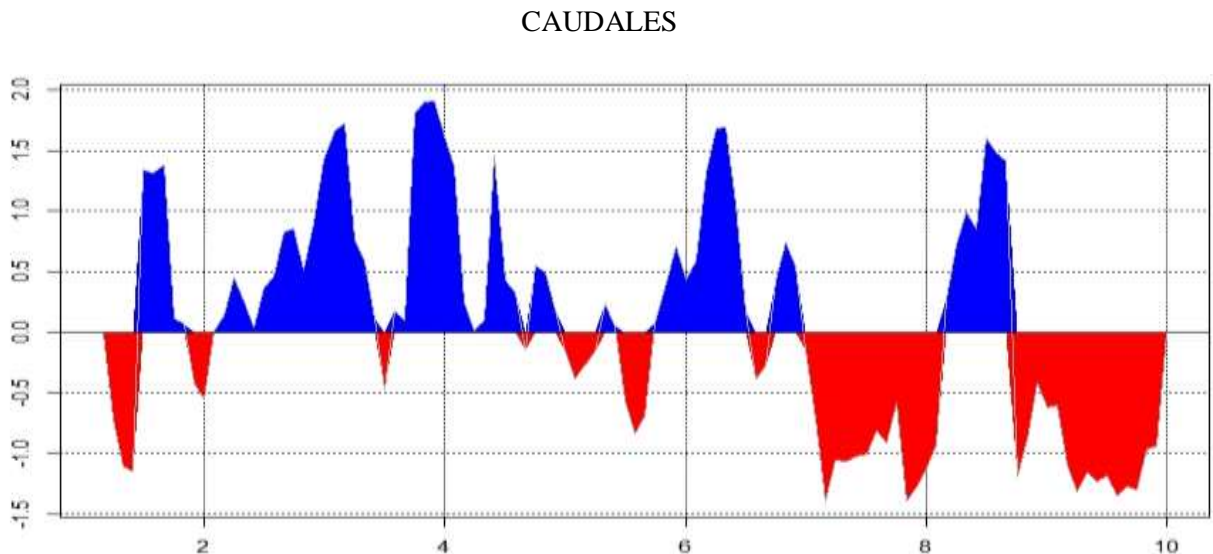


#### 4.2.1 Análisis del índice de caudal 3 meses de análisis de cada captación.

Series temporales de 3,6,12 meses con valores que nos representan periodos secos, húmedos en base a la tabla 11, de la microcuenca del río Tabacay de cada una de las captaciones se obtuvieron valores representativos en las gráficas de ICE con los valores de caudales.

##### 4.2.1.1 Punto de captación hidrológica de Nudpud

En la estación hidrológica de la Nudpud figura 28 obtiene un índice de sequía moderada en los 2010,2011,2012,2013 con valores de  $-1,5 < ICE \leq -1,0$  pero en los años 2014,2015 toma valores que determinan una sequía severa con valores  $(-2,0 < ICE \leq -1,5)$ , pero una sequía notoria extrema se da en los años 2017 y 2018 con valores de  $\leq -2,0$



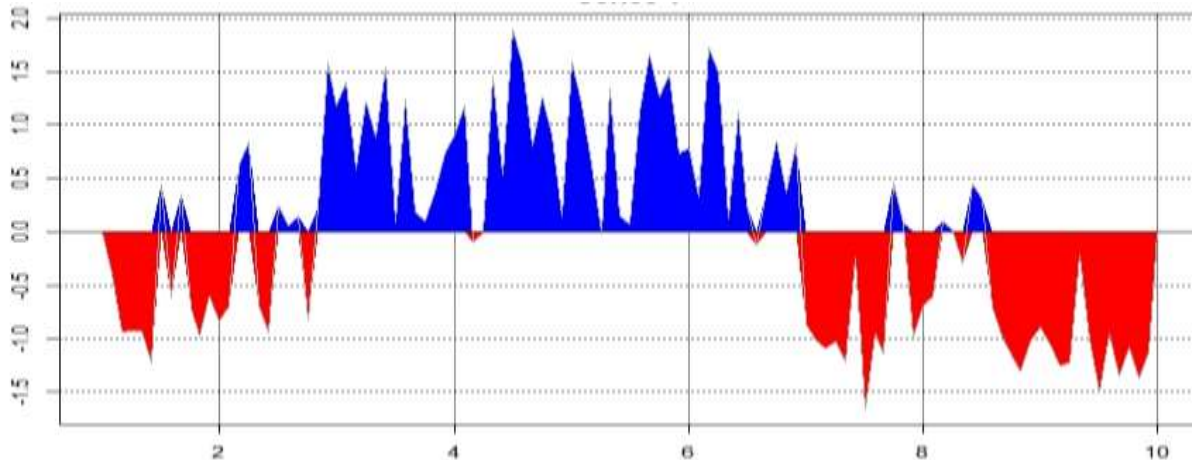
*Figura 31: Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Nudpud.*

Elaboración: Propia

##### 4.2.1.2 Punto de captación hidrológica de Llaucay

En la figura 29 de la captación de Llaucay se tiene valores de ICE en los años 2010,2011,2012,2017,2018 una sequía moderada, pero en los siguientes años se obtuvieron ya valores positivos determinando caudales por encima de la media.

CAUDALES



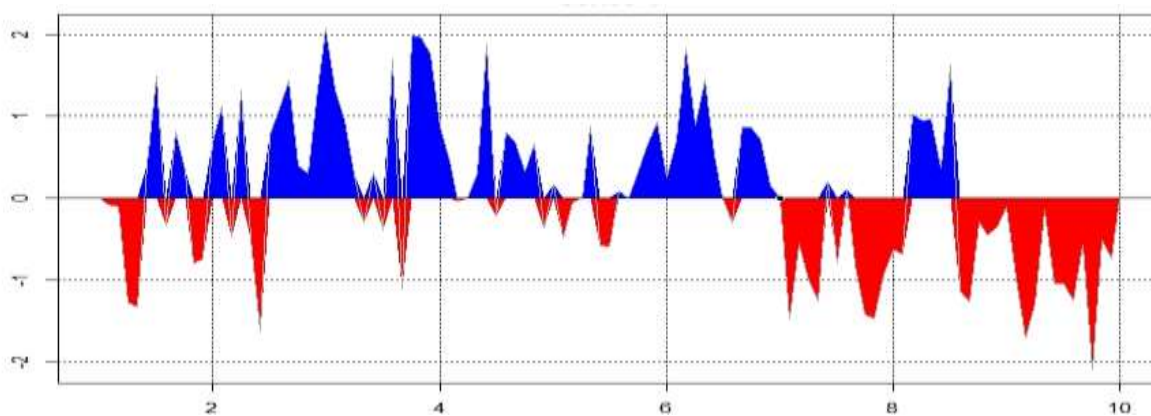
**Figura 32:** Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Llaucay.

Elaboración: Propia

#### 4.2.1.3 Punto de captación hidrológica de Mapayacu

En la captación de Mapayacu se determinaron valores figura 30 de sequía moderada y severa en los años de análisis, pero también se obtuvieron valores positivos mismo que establecen que se obtiene valores de caudales por encima de la media.

#### CAUDALES

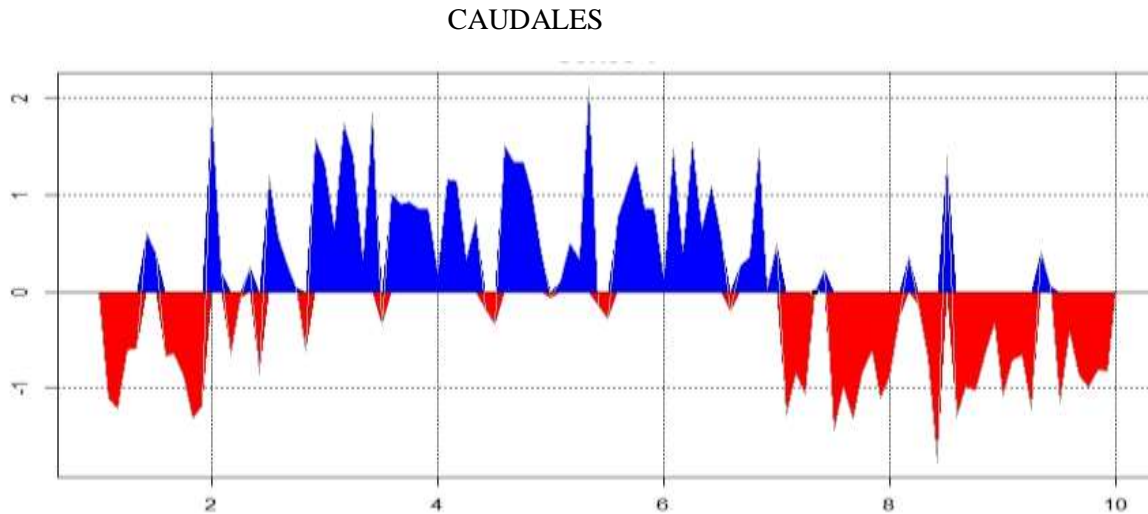


**Figura 33:** Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Mapayacu.

Elaboración: Propia

#### 4.2.1.4 Punto de captación hidrológica de Condoryacu

En la estación de Condoryacu podemos establecer que los valores de sequía figuran 31 representan una sequía moderada entre  $-1,5 < ICE \leq -1,0$  en los años de análisis, pero en ciertos años toma valores positivos que establecen que se obtiene valores de caudales por encima de la media.



*Figura 34: Análisis del índice de sequía hidrológica (ICE 3) de la captación de Condoryacu.*

Elaboración: Propia

Para el análisis de las series temporales de 6 y 12 se realizó el mismo procedimiento dependiendo de los valores que se obtenga se podrá determinar si la sequía que presentan dichas captaciones se les puede considerar tanto como: severas, moderadas o extremas, o por ende tome valores positivos denotando valores de caudales por encima de la media, las ilustraciones de las series temporales en el **Anexo 7, 8, 9,10 ,11 y 12.**

En las captaciones de Nudpud, Guapán, Llaucay **Anexo 9, 10 y 11** en la serie temporal de 6 meses representan valores en los años 2016, 2017, 2018 una sequía severa y moderada, pero en los años 2010, 2011, 2012, 2013, alcanzan valores de caudales por encima de la media.

En la serie temporal de 12 meses de las captaciones en el **Anexo 12 ,13 y 14** se refleja valores en los años 2010, 2011, 2012, 2013 alcanzan valores de caudales por encima de la media. Pero en los años 2016,2017,2018 una sequía severa y moderada,

### 4.3 Análisis y obtención de resultados del índice de calidad del agua “ICA”

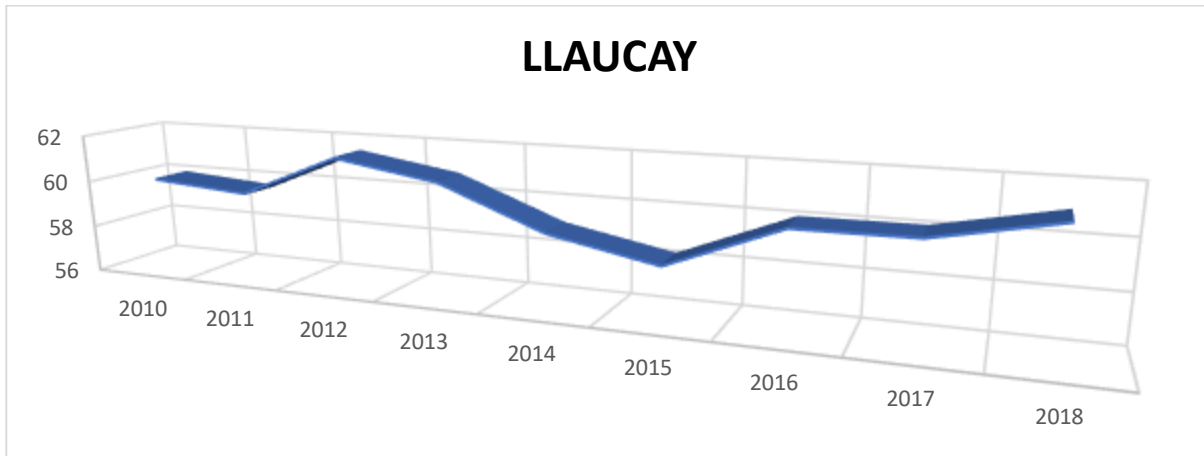
Aplicando la fórmula lineal ponderada de los subíndices (ICAa) o una función ponderada multiplicativa (ICAm) propuesta por Brown “WQI” (Water Quality Index) en el manual (*ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA,”* 2017).

Diversos estudios realizados en base al análisis de la calidad del agua aquellos que determinan siete parámetros importantes como son: Coliformes Fecales (en NMP/100 mL), pH (en unidades de pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L), Nitratos (NO3 en mg/L), Fosfatos (PO4 en mg/L), Cambio de la Temperatura (en °C), Turbidez (en FAU), Sólidos disueltos totales (en mg/ L) como por ejemplo en la cuenca del río Paute (Bajaña Zajia, 2018), en microcuenca del río Tabacay con la modelación de la calidad de la calidad agua (Matovelle, 2017), otro análisis del microcuenca del río Tabacay mediante el Control de calidad del agua e hidro geoquímica (Pauta et al., 2017), y otro análisis en la microcuenca mismo que determina el control y análisis de sedimentos (Urgilez, 2016).

#### **4.3.1 Análisis de los parámetros de calidad del agua en los puntos de captación**

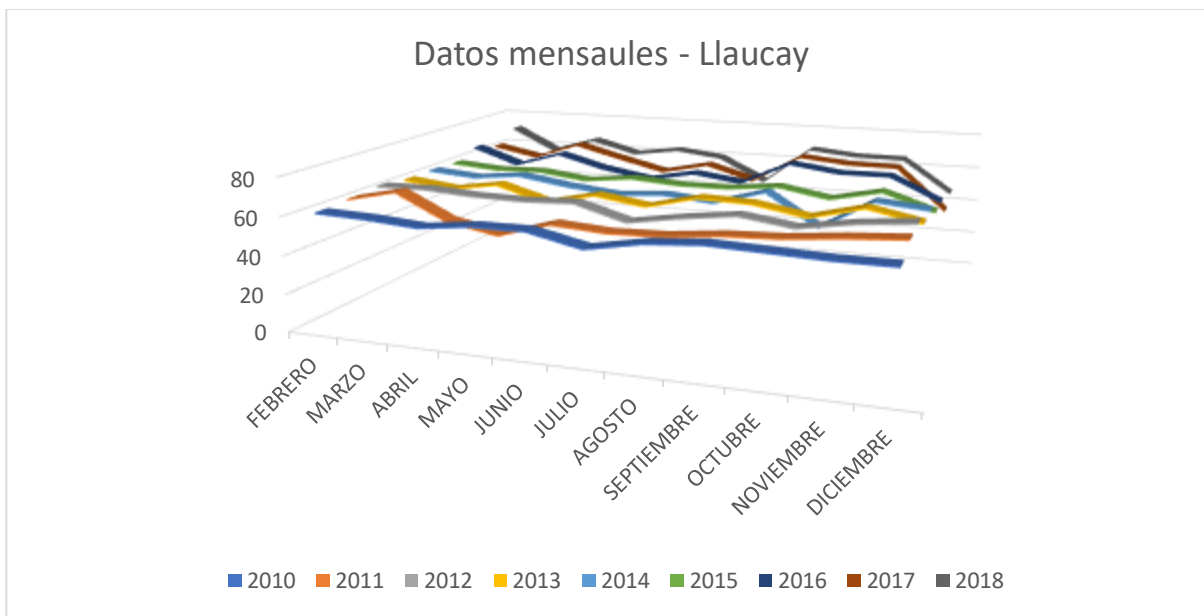
En base a los datos obtenidos por la empresa EMAPAL EP, los resultados de los valores índice de calidad del agua “ICA” de los siete parámetros analizados de las cuatro quebradas de la microcuenca del río Tabacay mediante el criterio de la tabla 8. Cabe recalcar que los datos obtenidos por la empresa en los años de análisis, esencialmente en el año 2014 no existía datos en las captaciones en algunos meses, por ende para completar dichos datos se realizó una correlación de los datos faltantes y poder establecer un rango de la calidad del recurso hídrico en las captaciones.

#### 4.3.1.1 Llaucay año 2010 - 2018 parámetros de calidad del agua “ICA”



**Figura 35:** Análisis de la calidad del agua en la captación de Llaucay

Elaboración: Propia

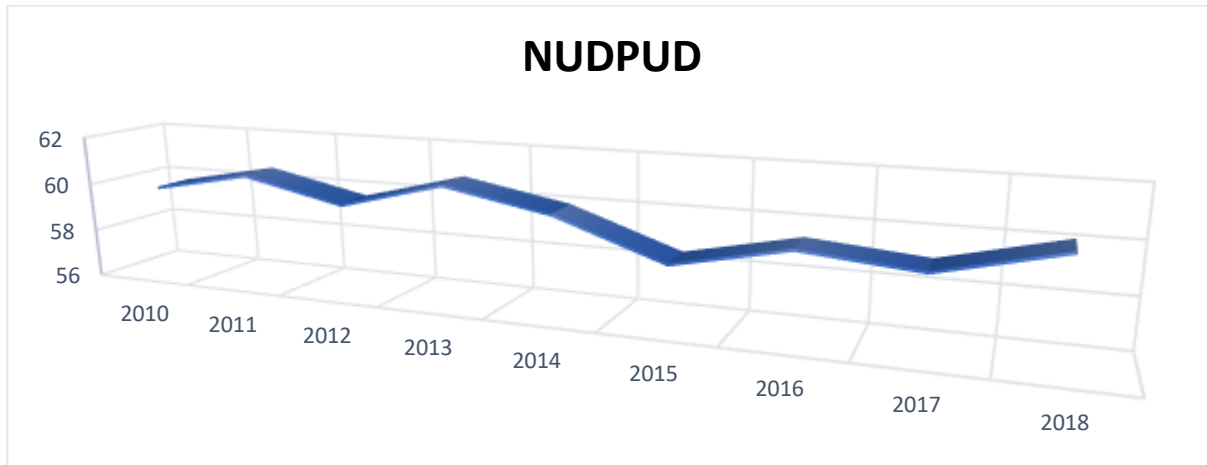


**Figura 36:** Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Llaucay

Elaboración: Propia

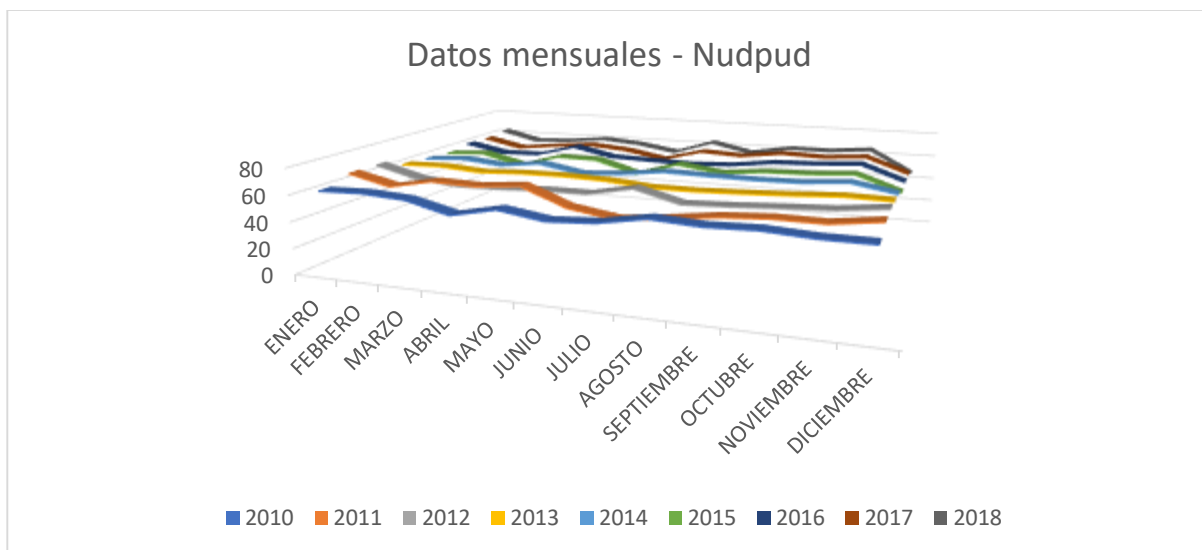
En la figura 32,33. se determina valores de la calidad del agua “ICA” del punto de captación de Llaucay se le puede establecer que en base al criterio de la tabla 8 la calidad del agua se encuentra en estado regular entre los valores de 61-58 en los 9 años de análisis.

#### 4.3.1.2 Nudpud año 2010-2018 parámetros “ICA”



**Figura 37:** Análisis de la calidad del agua en la captación de Nudpud

Elaboración: Propia

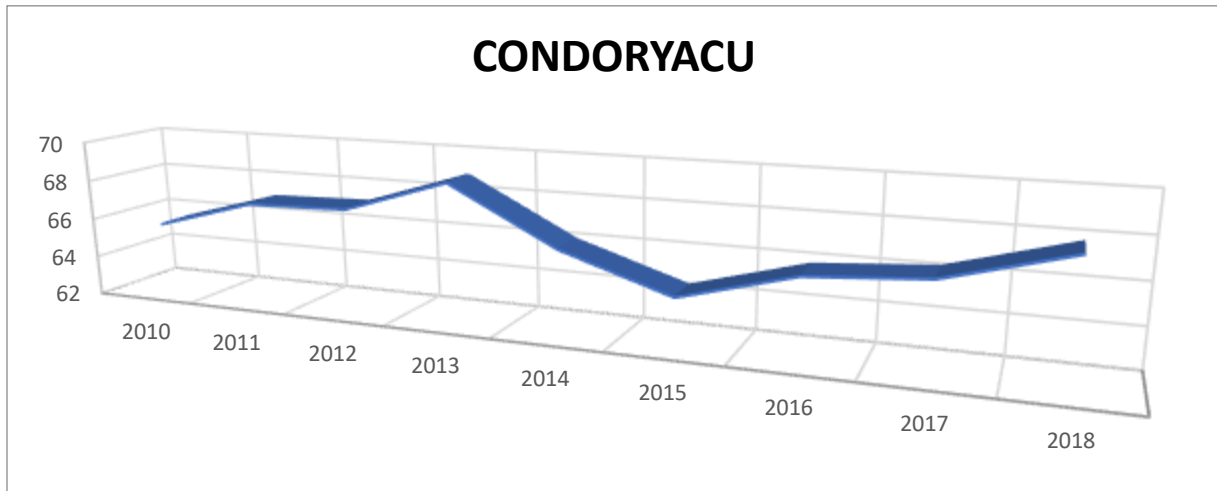


**Figura 38:** Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Nudpud

Elaboración: Propia

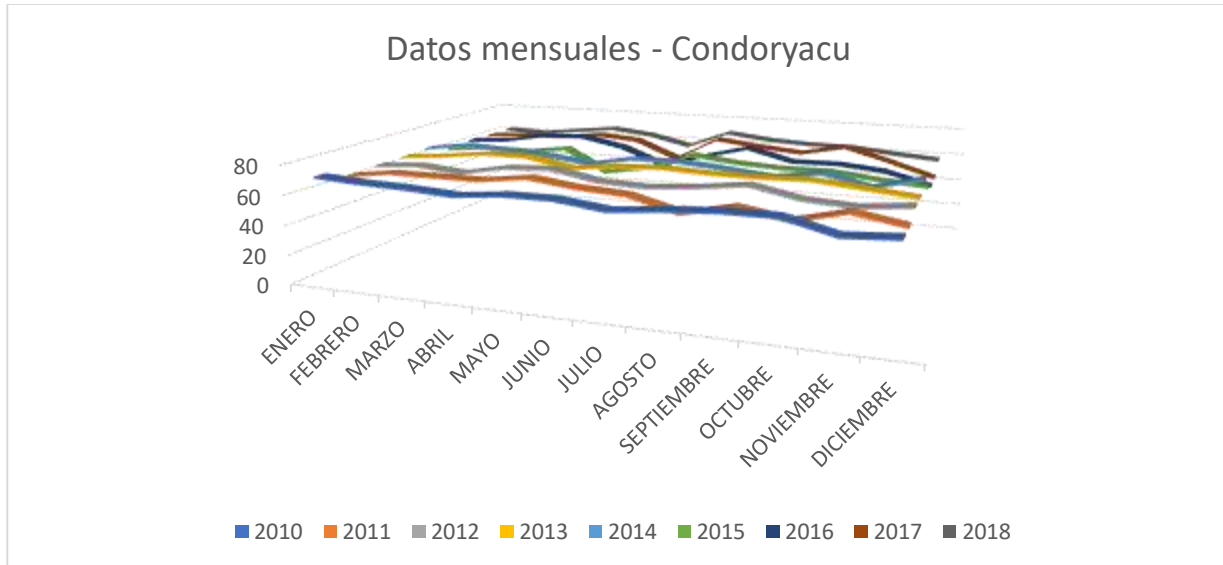
En la captación de Nudpud en las figuras 34,35. se obtiene valores que oscilan entre 61-58 por ende se puede determinar en base a la tabla 8, que la calidad del agua es regular, para este punto de captación de la microcuenca.

**4.3.1.3 Condoryacu año 2010-2018 parámetros “ICA”**



**Ilustración 39:** Análisis de la calidad del agua en la captación de Condoryacu

Elaboración: Propia

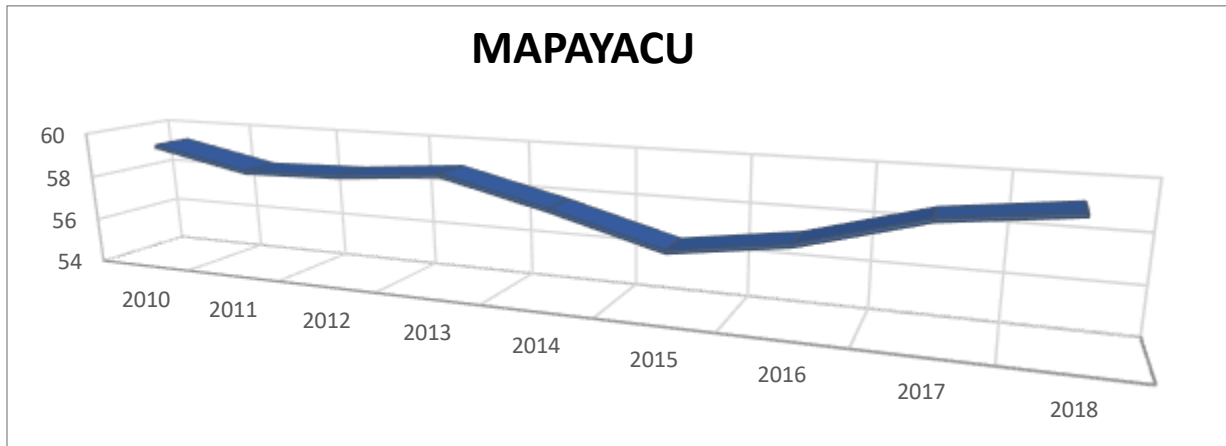


**Figura 40:** Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Condoryacu

Elaboración: Propia

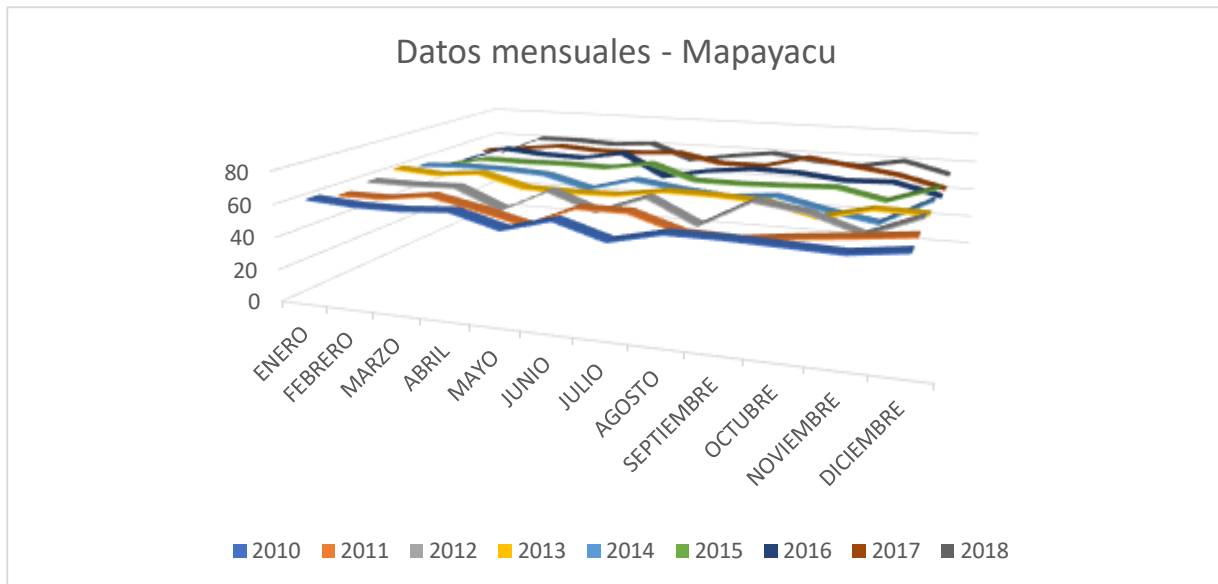
En las figuras 36,37. se determina valores “ICA” obtenidos en el punto de captación de Condoryacu se le puede establecer que en base al criterio de la tabla 8 la calidad del agua se encuentra en estado regular entre los valores de 69-64.

#### 4.3.1.4 Mapayacu año 2010-2018 parámetros “ICA”



*Figura 41: Análisis de la calidad del agua en la captación de Mapayacu*

Elaboración: Propia



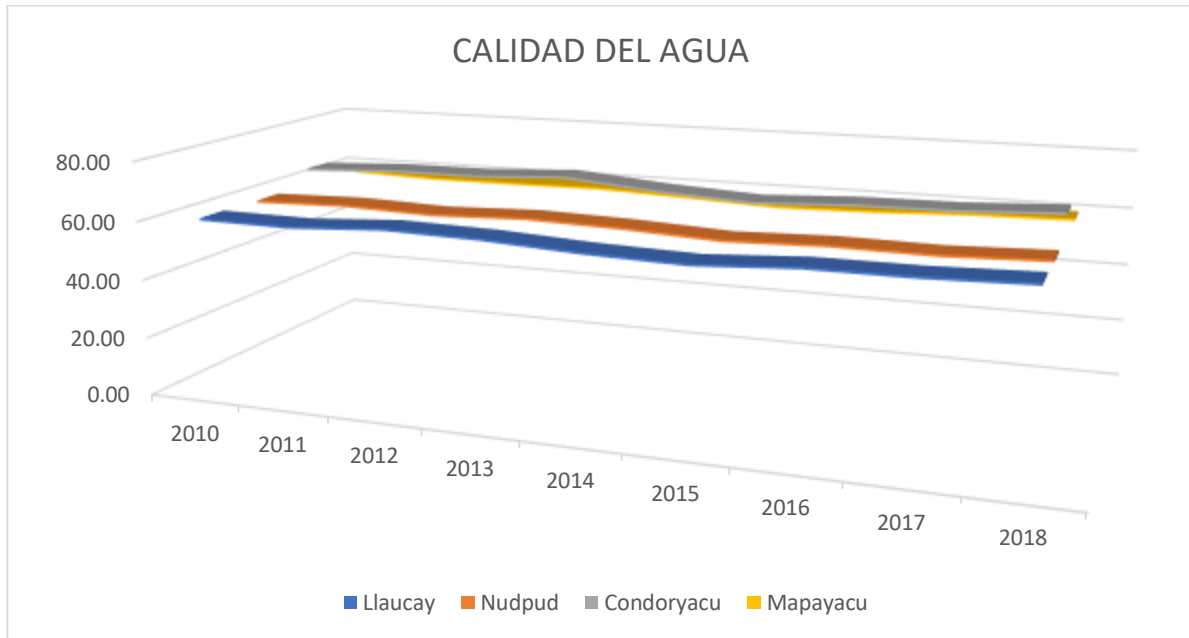
*Figura 42: Análisis mensual de la calidad del agua en la captación de Mapayacu*

Elaboración: Propia

En la captación de Mapayacu presenta valores entre 59-56 es por ello que se puede establecer que la calidad del recurso hídrico en el punto de captación es regular.



#### 4.3.2 Análisis de la calidad del agua en la microcuenca del río Tabacay



**Figura 43:** Análisis de la calidad del agua en las captaciones de la microcuenca del río Tabacay

Elaboración: Propia

En las captaciones de la microcuenca, Llaucay, Nudpud, Condoryacu, Mapayacu se obtuvieron valores como se observa en la figura 34, mismos que representan de cierta forma que la calidad del agua de la microcuenca se encuentra en un rango regular, obteniendo valores entre 68-58 por lo cual puede ser por distintas causas que la calidad del agua no se encuentre en estado bueno que puede influenciar la falta de datos en ciertas captaciones, morfología de la cuenca, la expansión de la frontera agrícola, tala de árboles y la demanda de la población, misma que pueden ocasionar que la calidad de agua no se encuentre en un estado óptimo para el consumo doméstico o requiere de un tratamiento más adecuado.

Los datos que nos generó la empresa EMAPAL EP de la ciudad de Azogues mismo que existían algunos datos faltantes por lo que puede ser uno de los problemas, en base al análisis de los parámetros de calidad como en los meses de marzo, abril, mayo se encontraba en su gran mayoría una carga elevada de coliformes fecales que sobrepasan al límite máximo establecido por el

<sup>1</sup>TULSMA en las captaciones Nudpud y Llaucay, pero en las captaciones de Mapayacu y Condoryacu presentaban sólidos disueltos con valores representativos.

#### 4.4 Análisis del riesgo de sequía en la microcuenca del río Tabacay

El riesgo de sequía en la microcuenca se estableció en base a dos parámetros importantes como son la vulnerabilidad y el peligro o amenaza, es por ello que se analizó la vulnerabilidad de la microcuenca mediante tres parámetros (Exposición, Fragilidad, Capacidad de adaptación), y para el cálculo del peligro y la amenaza se evaluó los índices de sequía, por ende, el resultado que se obtuvo se relacionó con la fórmula (1)

##### **4.4.1 Vulnerabilidad**

Para la obtención de la vulnerabilidad de la microcuenca en base a la información obtenida del plan de manejo ambiental y observaciones realizadas en las captaciones de la microcuenca del río Tabacay se aplicó las fórmulas de la tabla 13, en donde se analizó la exposición, fragilidad, y la capacidad de adaptación dando como resultado que la microcuenca presenta una vulnerabilidad entre los rangos entre 1-2 por lo que quiere decir que la microcuenca se encuentra en un estado bajo, mismo que puede ser ocasionado por distintas lo cual se debería establecer algunos estudios de la vulnerabilidad para el adecuado manejo de dicha microcuenca ya que es de vital importancia para la ciudad de Azogues.

##### **4.1.2 Peligro o amenaza**

El peligro se determinó en base al análisis de los índices de sequía meteorológica (precipitaciones) e hidrometeorológica (caudales), dando como resultado que para los años de análisis tanto los caudales como las precipitaciones en cada una de las estaciones de monitoreo presentan sequías severas y sequías extremas, pero en los últimos años de análisis presentan una humedad extrema, por lo que quiere decir que en un determinado tiempo la microcuenca presentara un temporal largo seco y por ende afectara ya sea en la microcuenca como para la ciudad de abastecimiento a la ciudad de Azogues, y por otro lado si en los últimos años ha presentados humedad extrema lo que quiere decir que así se obtenga una máxima cantidad de agua en la microcuenca, misma que no se puede establecer si se obtenga de buena o mala calidad para el consumo doméstico.

---

<sup>1</sup> TULSMA: Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente

#### 4.5 Riesgo de sequía en la microcuenca del río Tabacay

Para la obtención del riesgo de sequía en la microcuenca se estableció rangos ponderados tanto para la obtención del peligro o amenaza y la vulnerabilidad de la microcuenca, es por ello que el análisis del riesgo nos permite establecer la calidad del recurso hídrico se encuentra en un rango regular denotando que al transcurrir el tiempo el agua no ha logrado llegar a los rangos que establezcan una buena calidad esto puede ser ocasionado por diferentes factores que están estrechamente relacionados.

Mediante el análisis de la sequía hidrológica y meteorológica los valores presentan sequias moderadas y severas lo que quiere decir que así se tenga mayor o menor cantidad en el recurso hídrico, no se puede asegurar que el mismo conlleve una buena calidad para el respectivo consumo. La vulnerabilidad de la microcuenca se determinó valores bajos que de una u otra forma se ve afectada la calidad del recurso hídrico, si no se toma medidas que puedan ayudar a la conservación y el manejo adecuado de la calidad del recurso se podría estar enfrentando a un problema severo y la población azogueña sería la más afectada en adquirir el recurso hídrico que no se encuentra con los límites permisibles de calidad y cantidad.

Aplicando la fórmula del riesgo de sequía se obtiene valores representativos tanto en la calidad del recurso hídrico como los índices de sequía valores estos valores representativos nos determinan si la microcuenca se encuentra en un estado adecuado o necesita varios estudios que nos ayuden aplicar técnicas para el manejo adecuado, es por ello que se obtiene valores aplicando la fórmula general del riesgo de sequía fórmula (12)

$$R = 1.5 * 1.5$$

$$R = 2.25$$

Lo que nos quiere decir en base a la tabla 16. que el riesgo de sequía es alto encontrándose entre los valores de 2-2.5 lo que quiere decir que la microcuenca no se encuentra en un estado aceptable denotando algunos que se requiere de diferentes formas de manejo y para un estricto cuidado de lo más importante que es el recurso hídrico, por ende, así exista mayor o menor cantidad de agua en la microcuenca, pero si la misma no se encuentra en condiciones adecuadas para su consumo y para la vida de muchos ecosistemas biótico.

## V

### 5. CONCLUSIONES

- Con relación al primer objetivo en base a la caracterización morfométrica de la microcuenca que estableció que, el 70% de la microcuenca tiene una cobertura clave para la regulación de agua. Los páramos ocupan el 56%, el bosque el 18% y 4% de matorral, El 30% del territorio de la microcuenca se ocupa actualmente por actividades agropecuarias y ganadera, las cuales generan bienestar a las comunidades, pero también generan contaminación y degradación del suelo y por ende afecta la calidad y la regulación del recurso hídrico de los ecosistemas bosques y páramos, es por ello que se debe cuidar y darle un adecuado monitoreo a las captaciones y en si la microcuenca del rio Tabacay, ya que es de vital importancia puesto que está facilitando el consumo de familias, uso doméstico, sistema de riego, hectáreas de cultivos.
- En el segundo objetivo se puede establecer que a partir de los en datos proporcionados por la empresa de la ciudad de Azogues EMAPAL EP, de precipitaciones en las respectivas captaciones de la microcuenca , se obtuvo los valores del índice de sequía meteorológica en los años de análisis 2010-2018, dando como resultado que en la captación de Nudpud y Llaucay presentan una sequía moderada y épocas extremadamente húmedas, por otro lado la captación de Mapayacu presenta una sequía severa y moderada y por último la captación de Condoryacu se obtiene índices de sequía moderada, esto quiere decir que en todas las captaciones toman valores positivos denotando épocas húmedas o extremadamente húmedas en los distintos puntos de captación o caso contrario toman valores negativos denotando una sequía severa o extremadamente seca, cual se deberá tomar un enfoque en las actividades que se realizan cerca de la fuente del recurso hídrico estas actividades puede ser: agricultura, ganadería, residenciales y silvícolas.
- En base a lo planteado en el objetivo tres se obtuvo valores los cuales se puede determinar que en las respectivas captaciones de la microcuenca del rio Tabacay denotan que existe

un representativo déficit en el caudal, mismo que tiene relación de la sequía meteorológica, esto quiere decir que en las captaciones de Nudpud y Llaucay, presentan una sequía hidrológica moderada , y en la captación de Mapayacu determina una sequía extrema y en la captación de Condoryacu de obtienen valores de sequía severa para los años de análisis, toman valores positivos denotando épocas húmedas o extremadamente húmedas en los distintos puntos de captación o caso contrario toman valores negativos denotando una sequía severa o extremadamente seca, esto puede ser ocasionado por varias razones en específico que se genera en la microcuenca como, por ejemplo, tala de árboles cerca de la captación, la captación de Mapayacu cerca de las vías, agricultura, ganadería alrededor de la captación.

- En el cuarto objetivo del trabajo de investigación mismo que establece el riesgo que sequía que presenta la microcuenca del rio Tabacay, cabe recalcar que se plantea el respectivo análisis del peligro o amenaza tomando en cuentas los resultados que se obtiene en los (índice de sequía meteorológica, índice de sequía hidrológica) mismo que denotan una relación lo cual nos puede ayudar a obtener datos que nos ayude a denotar un cierto peligro o amenaza referente a dichos índices, y la vulnerabilidad hace referencia a la (calidad de agua) que existe en cada una de las captaciones mismo que se obtiene valores como de pH, coliformes fecales, etcétera. dando como resultado que la microcuenca se encuentra en estado medio lo que quiere decir que la calidad del recurso hídrico no se encuentra en un estado adecuado mismo, que requiere de diferentes monitoreos o toma de medidas al respecto para poder tener en una estado excelente al recurso hídrico porque al pasar el tiempo si no se plantea y se toma medidas para la protección y a su vez procurando la conservación del recurso hídrico ya que es de vital importancia porque sirve de abastecimiento la ciudad de Azogues. En base al análisis de los índices de sequía más la calidad del agua se puede establecer que la microcuenca se encuentra en un punto que requiere de varios análisis, porque puede existir bastante recurso hídrico en las captaciones, pero si el mismo no se encuentra de buena calidad para que las personas puedan adquirirlo puede conllevar a varias enfermedades a las personas allegadas a la microcuenca.

## VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Empresa EMAPAL EP, institución que es encargada del mantenimiento y control de las fuentes de agua para la ciudad de Azogues, instalar en la microcuenca del río Tabacay una red de calidad, mismo que nos permitirá captar datos de precipitación, temperatura, calidad y cantidad de agua con el propósito de predecir condiciones futuras críticas.
- En todas las captaciones de vital importancia que tiene la microcuenca se proceda a la colocación de un sistema que nos facilite para la tomar datos in-situ, el cual nos permitirá obtener datos con mayor precisión en diferentes escalas de tiempo.
- Realización de monitoreos mensuales en las parte alta, media y baja de la microcuenca con el propósito de que las personas que habitan cerca de las captaciones del agua no realicen actividades como agricultura, ganadería, residenciales y silvícolas. que conlleve a un mal manejo de la microcuenca ocasionado que el recurso hídrico se encuentre en mala calidad.
- Mediante la determinación de los índices de sequías; por ende, teniendo en cuenta la relación de los resultados obtenidos en base a las áreas de cultivos con mapas temáticos, los cuales permitirán tomar las medidas oportunas para la mitigación y adaptación ante la ocurrencia de este fenómeno.

## VII

### 7. BIBLIOGRAFÍA

Bajaña Zajia, L. S. (2018). *Calibración del índice de calidad del agua (ICA) para la cuenca hidrográfica del Río Paute, región sur interandina del Ecuador, basado en el acuerdo*

- ministerial 097-a/2015 DEL Ministerio del Ambiente (MAE).*  
<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3218>
- Bolinches, A., Paredes-Arquiola, J., Garrido, A., & De Stefano, L. (2020). A comparative analysis of the application of water quality exemptions in the European Union: The case of nitrogen. *Science of the Total Environment*, 739, 139891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139891>
- Caribe, M. (2018). *DESASTRES NATURALES*. [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/10desastres\\_naturales.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/urgencia/10desastres_naturales.pdf)
- Castillo-Castillo, M., Ibáñez-Castillo, L. A., Valdés, J. B., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (2017). Analysis of meteorological drought in the Fuerte River Basin. In *Mexico. Water Technology and Sciences: Vol. VIII* (Issue 1).
- Cerón, W. L., Escobar, Y. C., & Baquero Montoya, O. L. (2015). Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. In *Estudios Geograficos* (Vol. 76, Issue 279, pp. 557–578). CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201520>
- E, A., & Peter Lang. (2016). Tabla de contenido. *Plan de Manejo Integral de La Microcuenca Del Rio Tabacay*. <https://doi.org/10.3726/978-3-0352-0094-2/1>
- EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES EMAPAL-EP, (2017). <https://docplayer.es/43706500-Empresa-publica-municipal-de-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento-ambiental-del-canton-azogues-emapal-ep.html>
- Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., & White, L. L. (2014). Climate change 2014 impacts, adaptation and vulnerability: Part A: Global and sectoral aspects: Working group II contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*, 1–1131. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>
- Frischen, J., Meza, I., Rupp, D., Wietler, K., & Hagenlocher, M. (2020). Drought risk to agricultural systems in Zimbabwe: A spatial analysis of hazard, exposure, and vulnerability. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12030752>

- García Marín, R. (2017). Riesgo de sequía y vulnerabilidad socioeconómica en la Cuenca del Guadalentín. *TDR (Tesis Doctorales En Red)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/10875>
- González Tánago, I., Urquijo, J., Blauhut, V., Villarroya, F., & De Stefano, L. (2016). Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. *Natural Hazards*, 80(2), 951–973. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2006-1>
- Greenpeace España. (2017). *Sequía, algo más que falta de lluvia. Impactos e imágenes*. [https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/Sequia-Falta-de-Agua\\_WEB-1.pdf](https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2017/11/Sequia-Falta-de-Agua_WEB-1.pdf)
- He, Y., Wetterhall, F., Cloke, H. L., Pappenberger, F., Wilson, M., & Freer, J. (2009). Tracking the uncertainty in flood alerts driven by grand. *Meteorological Applications*, 101(February), 91–101. <https://doi.org/10.1002/met>
- Hosseini, N., Johnston, J., & Lindenschmidt, K. E. (2017). Impacts of climate change on the water quality of a regulated prairie river. *Water (Switzerland)*, 9(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/w9030199>
- ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA.” (2017).
- IPCC. (2017). Climate Change and Land Ice; IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems; Summary for Policymakers. *Ippc, February*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0538>
- Jheimy, P., Nathaly, P., & Alex, A. (2017). *Análisis de la sequía en la cuenca del Paute mediante el índice de precipitación estandarizado ( SPI )*. May, 1990–1994.
- Kim, J. S., Seo, G. S., Jang, H. W., & Lee, J. H. (2017). Correlation analysis between Korean spring drought and large-scale teleconnection patterns for drought forecasting. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 458–466. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0580-8>
- Liu, X., Yang, Z., Yuan, S., & Wang, H. (2017). A novel methodology for the assessment of water level requirements in shallow lakes. *Ecological Engineering*, 102, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.004>
- Marcos Valiente, Ó. (2017). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26(26), 59. <https://doi.org/10.14198/ingeo2001.26.06>
- Matovelle, C. (2017). Modelo matemático de calidad de agua aplicado en la microcuenca del río Tabacay. *Killkana Técnica*, 1(1), 39. [https://doi.org/10.26871/killkana\\_tecnica.v1i1.19](https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v1i1.19)



- Meza, L., Corso, S., & Soza, S. (2010). *GESTIÓN DEL RIESGO DE SEQUÍA Y OTROS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN CHILE*. www.fao.cl
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Morales, C. (2017). *Modelación de la calidad de agua en la microcuenca del río Tabacay perteneciente a la subcuenca del río Burgay*. 1–29.
- Mosley, L. M. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, 203–214. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.010>
- Ncube, A., Mangwaya, P. T., & Ogundeji, A. A. (2018). Assessing vulnerability and coping capacities of rural women to drought: A case study of Zvishavane district, Zimbabwe. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28(March 2017), 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.02.023>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), & Asociación Mundial para el Agua. (2016). Manual de indicadores e índices de sequía. In *Programa de gestión integrada de sequías*. www.droughtmanagement.info
- Ortega T. (2017). *INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DEL SISTEMA DE INDICADORES DE SEQUÍA DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS*.
- Park, S. Y., Sur, C., Kim, J. S., & Lee, J. H. (2018). Evaluation of multi-sensor satellite data for monitoring different drought impacts. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(9), 2551–2563. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1537-x>
- Pauta, G., Urgilés, P., & Vázquez, G. (2017). *Water quality control and hydrogeochemistry in the microbasin of the Tabacay river Control de calidad del agua e hidrogeoquímica en la microcuenca del río Tabacay* (Vol. 3). <http://fundacioniai.org/actas>
- Payán, A. (2015). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras*. 121.
- Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L., Clark, D. B., Arnell, N. W., Dankers, R., Fekete, B. M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S. N., Hagemann, S., Hannah, D. M., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y., & Wisser, D. (2014). Hydrological droughts in the 21st

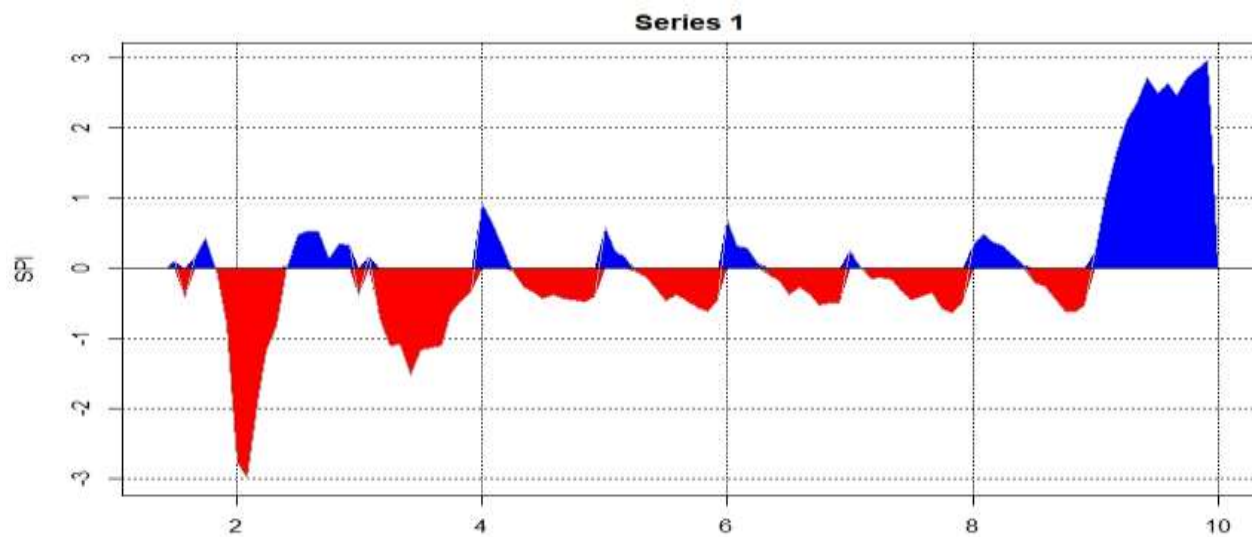
- century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3262–3267. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222473110>
- Rivera. (2017). *Análisis de Vulnerabilidad con énfasis de sequia*. [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/399/Analisis\\_de\\_vulnerabilidad\\_con\\_énfasis\\_en\\_sequia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/399/Analisis_de_vulnerabilidad_con_énfasis_en_sequia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rivera, J. A., & Penalba, O. C. (2018). Probability distribution of monthly streamflows over cuyo and Patagonia regions (Argentina). Hydrological drought monitoring application. *Meteorologica*, 43(2), 25–46. <http://spi-support.blogspot.com>
- Romero, J. R., Antenucci, J. P., & Imberger, J. (2004). One- and three-dimensional biogeochemical simulations of two differing reservoirs. *Ecological Modelling*, 174(1–2), 143–160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.005>
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P., & Xu, G. (2017). Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena*, 151, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.017>
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- Urgilez, P. (2016). *Control De Calidad De Agua Y Análisis De Sedimentos En La Microcuenca Del Río Tabacay*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25959/1/tesis.pdf>
- Valarezo, L. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL PAUTE MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO EN DIVERSAS ESCALAS TEMPORALES TRABAJO*. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28727/1/Trabajo de titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28727/1/Trabajo%20de%20titulaci3n.pdf)
- van Vliet, M. T. H., & Zwolsman, J. J. G. (2008). Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. *Journal of Hydrology*, 353(1–2), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.001>
- Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 109–136. <https://doi.org/10.18359/rcin.2309>

- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2017). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wang, X., Ma, F. B., & Li, J. Y. (2012). Water Resources Vulnerability Assessment based on the Parametric-system Method: a Case Study of the Zhangjiakou Region of Guanting Reservoir Basin, North China. *Procedia Environmental Sciences*, 13(2011), 1204–1212. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.114>
- Wickham, E. D., Bathke, D., Abdel-Monem, T., Bernadt, T., Bulling, D., Pytlik-Zillig, L., Stiles, C., & Wall, N. (2019). Conducting a drought-specific THIRA (Threat and Hazard Identification and Risk Assessment): A powerful tool for integrating all-hazard mitigation and drought planning efforts to increase drought mitigation quality. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39(January), 101227. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101227>
- Wilches-Chaux, G. (2018). La vulnerabilidad social. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Wu, Yun Zhen, P., De, M., & Naturales, R. (2017). *UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA VICERRECTORÍA ACADÉMICA ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Tesis sometido a la consideración del Tribunal Examinador del.*
- Zhang, W., Chen, D., & Li, H. (2018). Spatio-temporal dynamics of water quality and their linkages with the watershed landscape in highly disturbed headwater watersheds in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35287–35300. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3310-6>
- Zhang, X., Liu, X., & Wang, H. (2014). Developing water level regulation strategies for macrophytes restoration of a large river-disconnected lake, China. *Ecological Engineering*, 68, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.087>
- Zhao, J., Xu, T., Xiao, J., Liu, S., Mao, K., & Song, L. (2020). Responses of Water Use Efficiency to Drought in. *Remote Sensing*, 12(199).

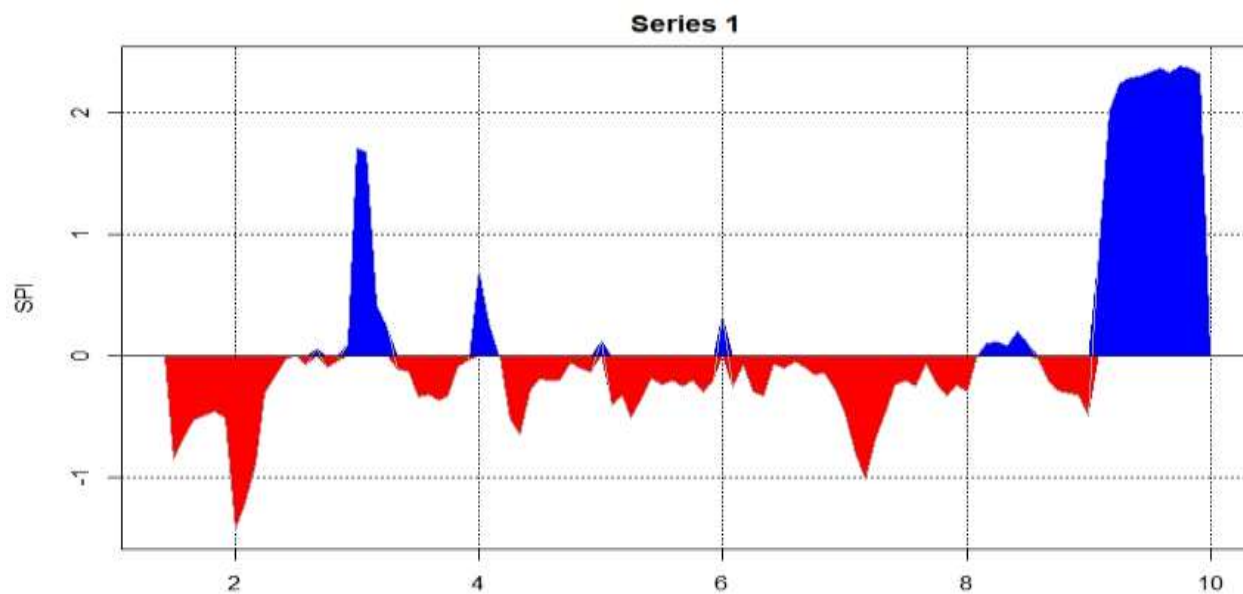
## VIII

### 8. ANEXOS

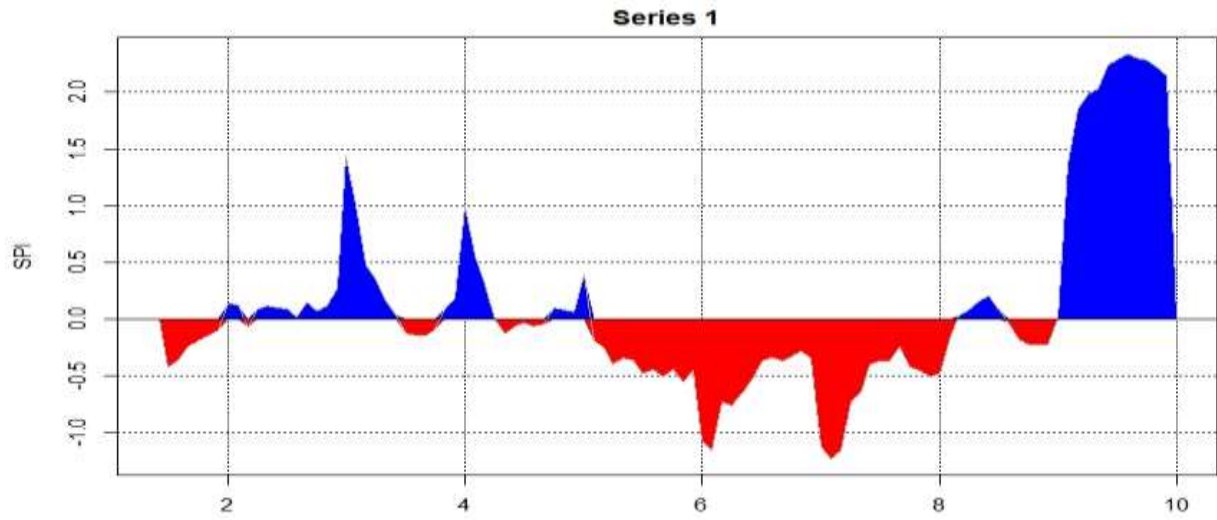
*Anexo 1. Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Nudpud*



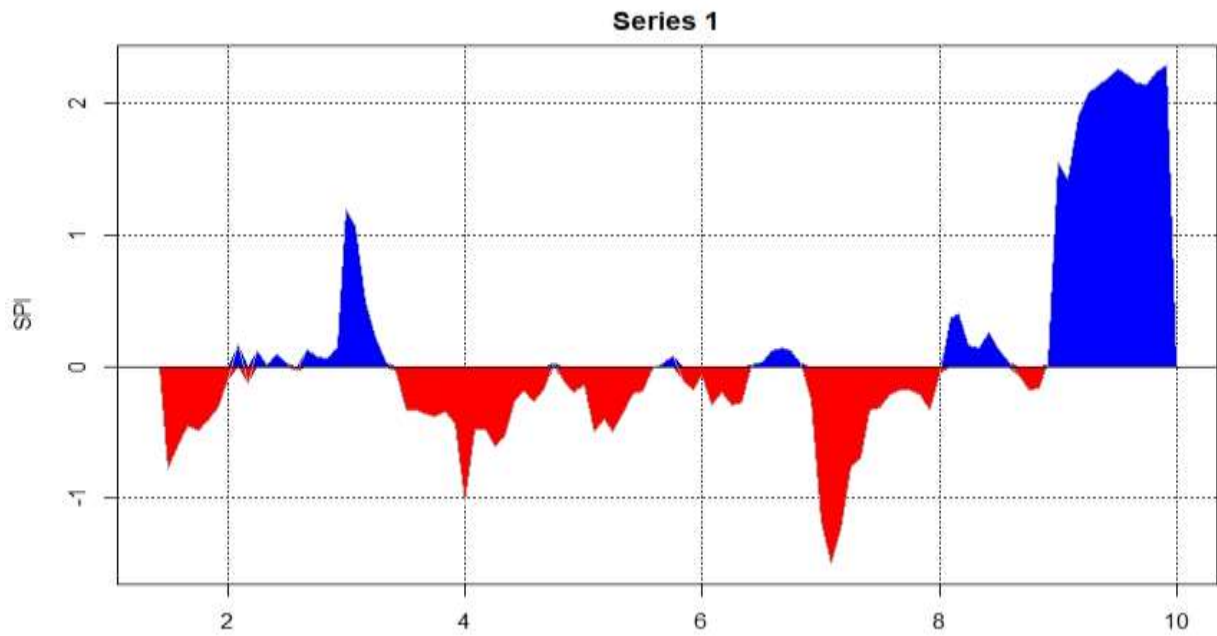
*Anexo 2. Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Condoryacu*



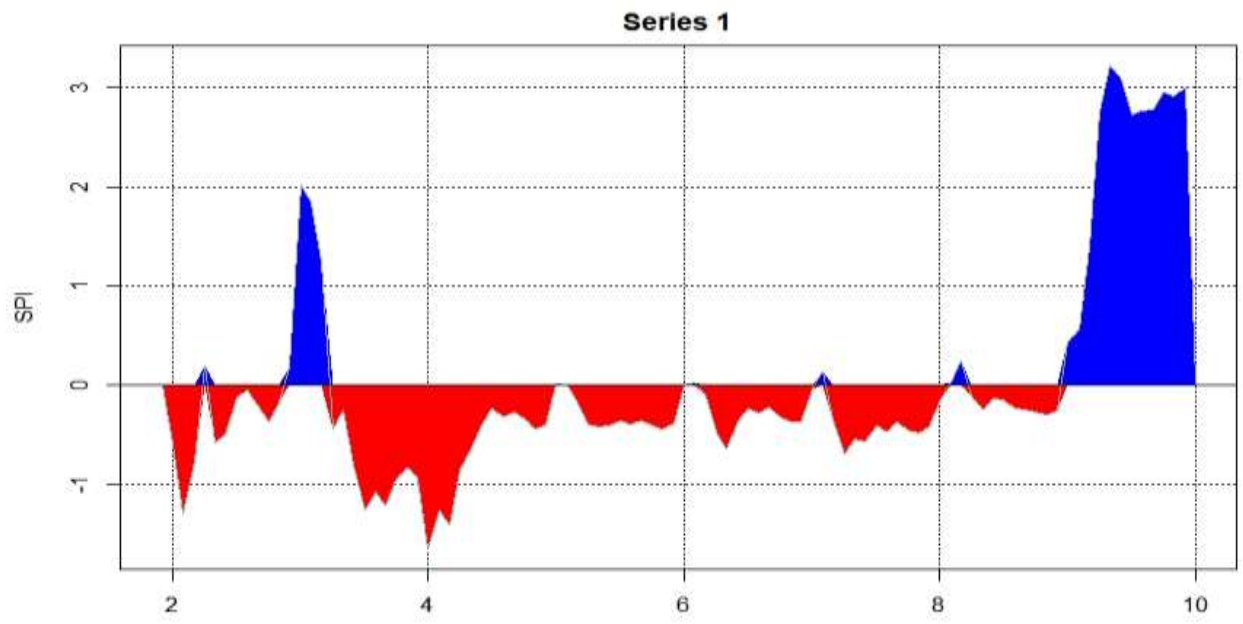
*Anexo 3. Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Llaucay*



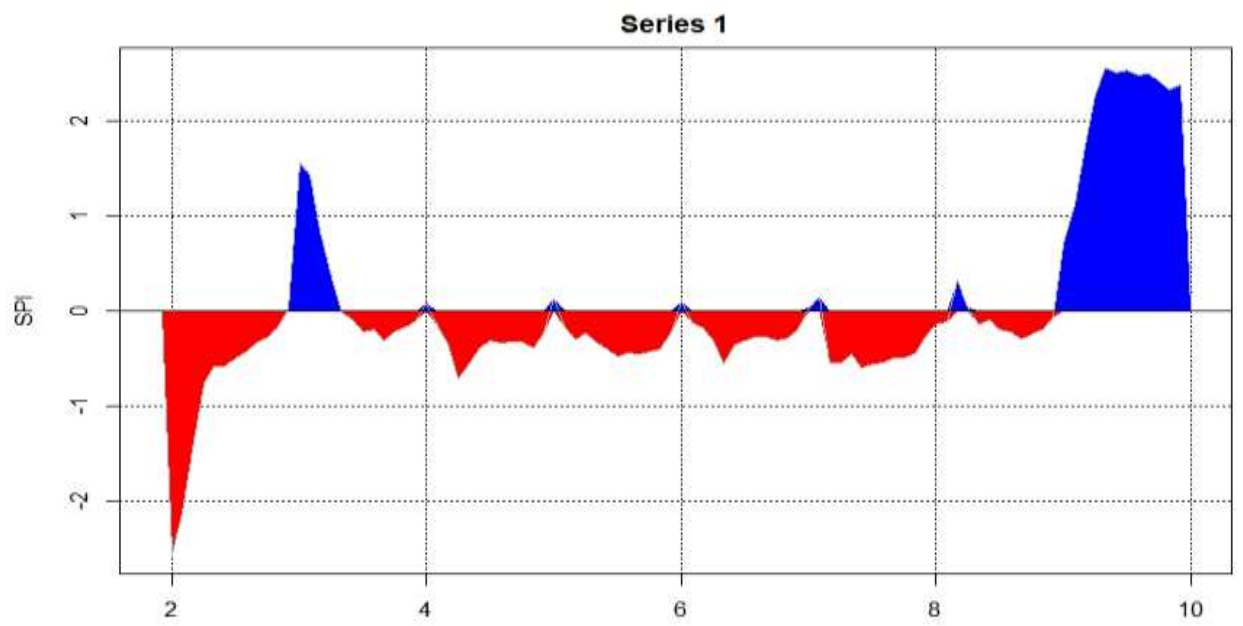
Anexo 4. Índice estandarizado de precipitación "SPI 6" Guapán



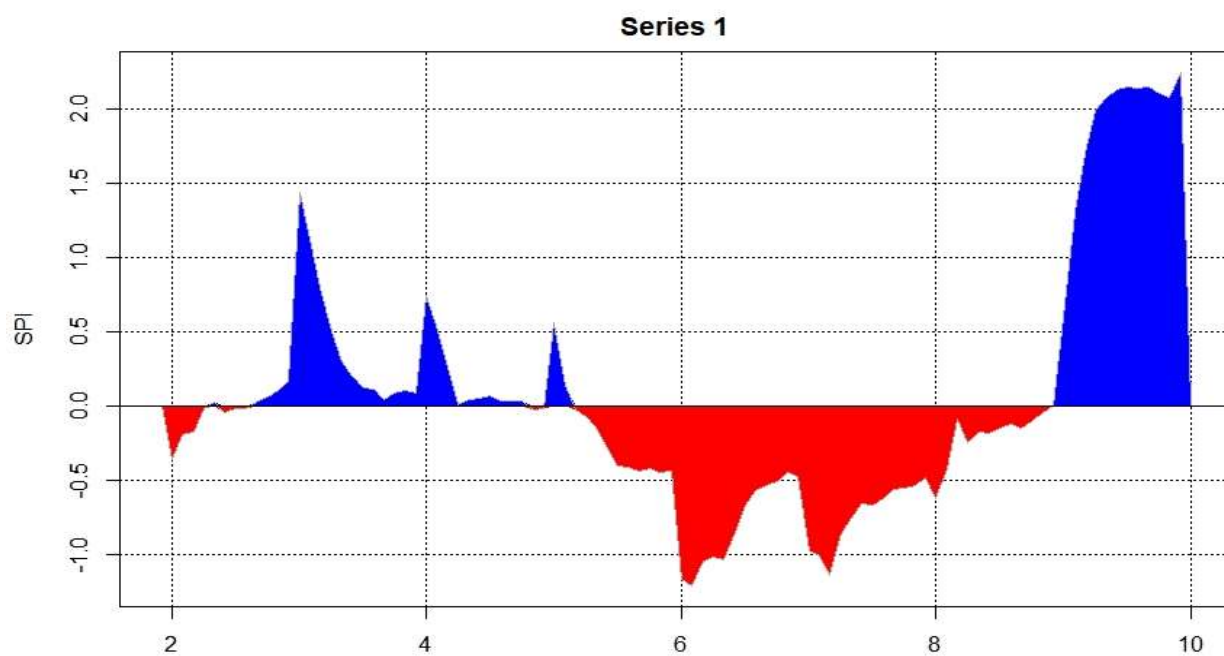
*Anexo 5. Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Nudpud*



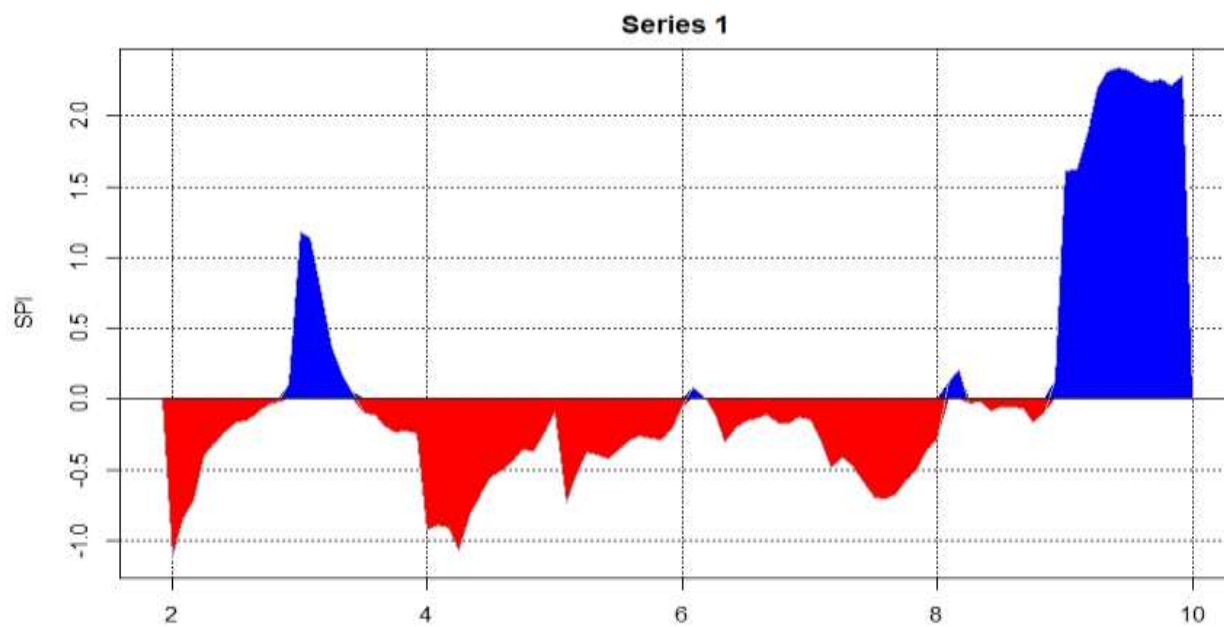
*Anexo 6. Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Condoryacu*



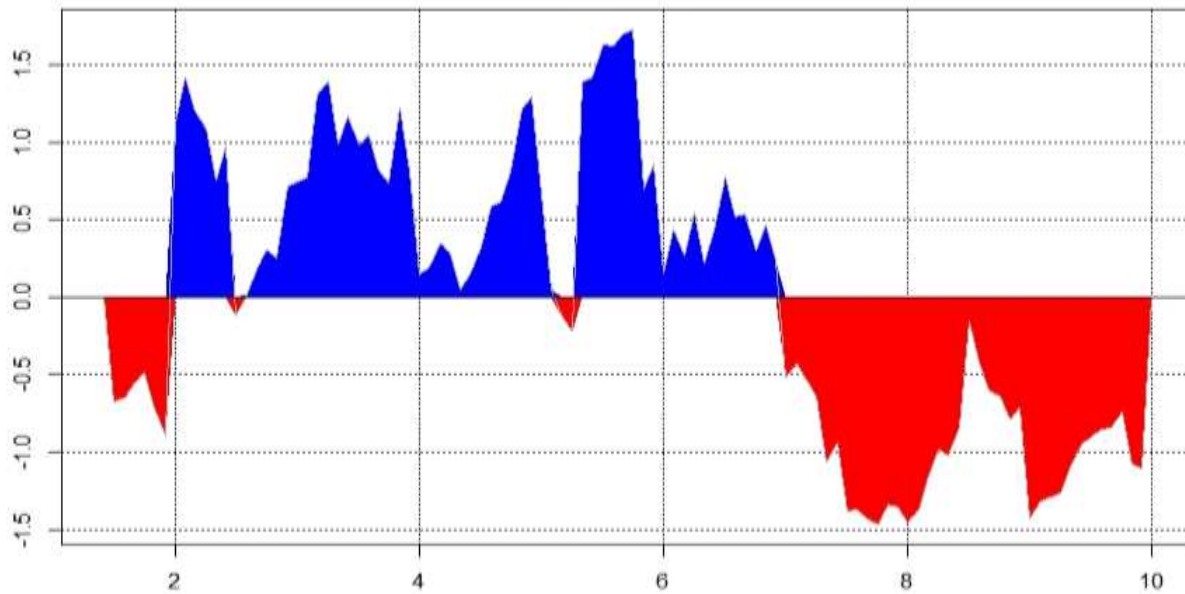
*Anexo 7. Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Llaucay*



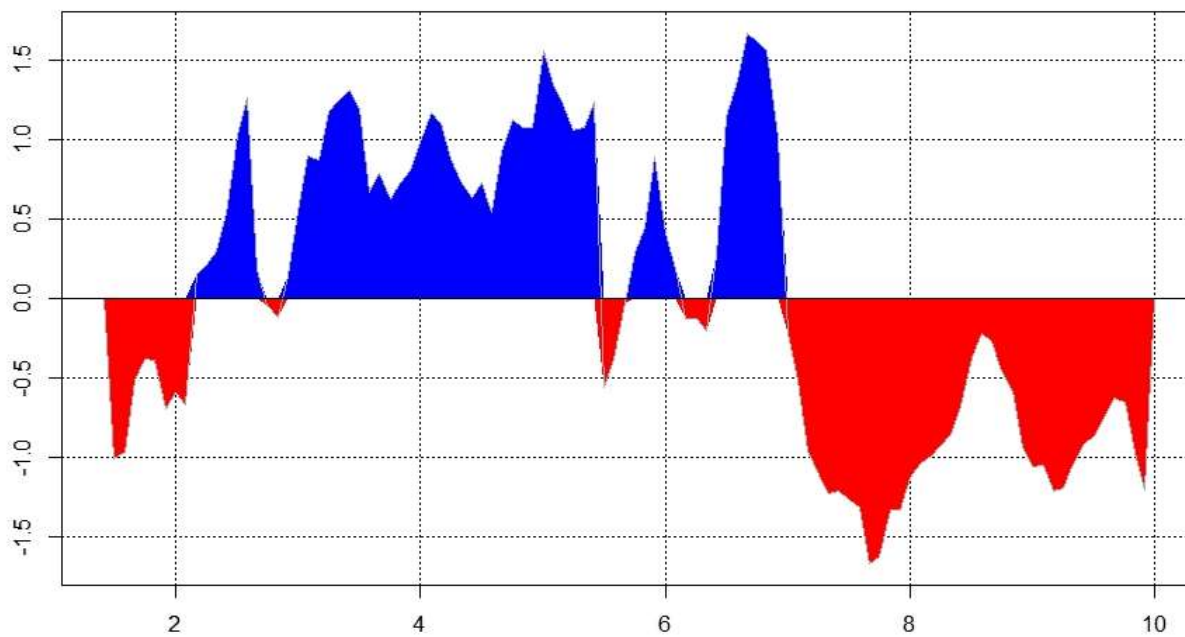
*Anexo 8. Índice estandarizado de precipitación "SPI 12" Guapán*



*Anexo 9. Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Nudpud*

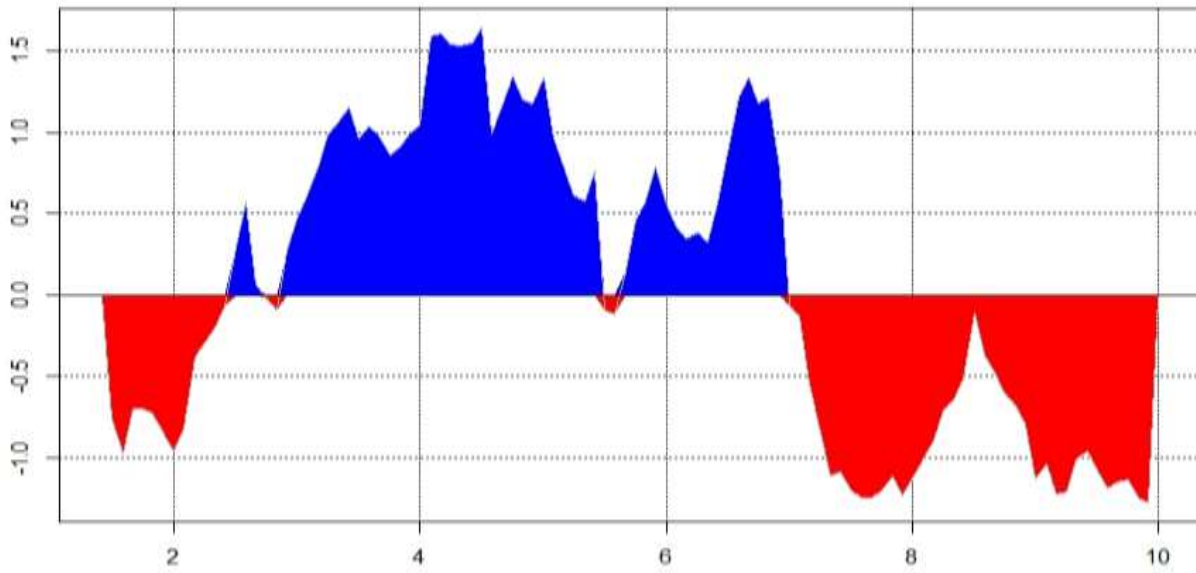


*Anexo 10. Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Llaucay*

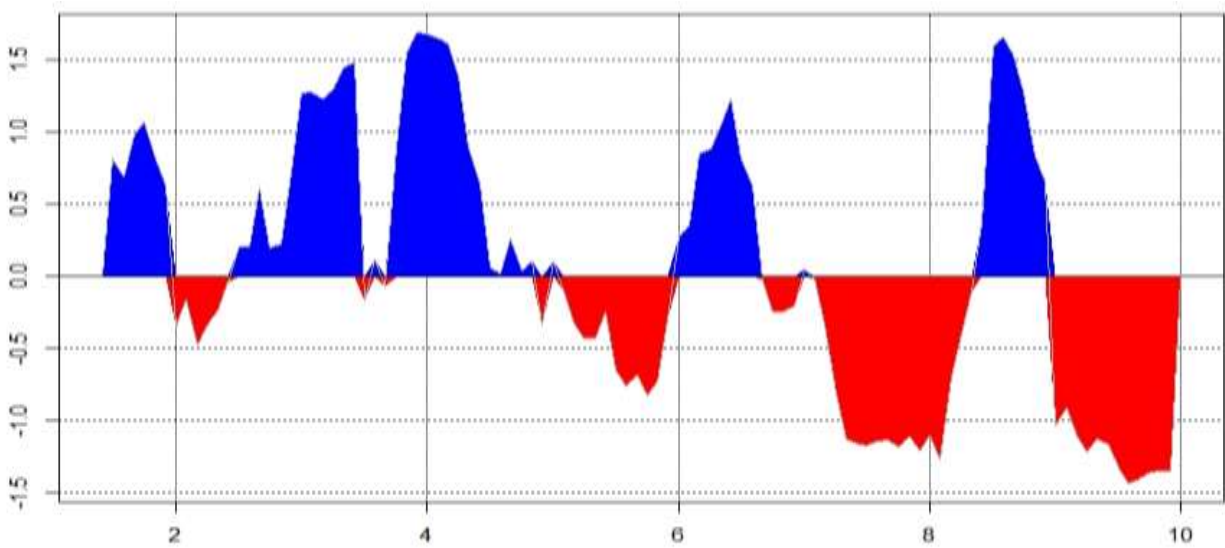


*Anexo 11. Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Mapayacu*

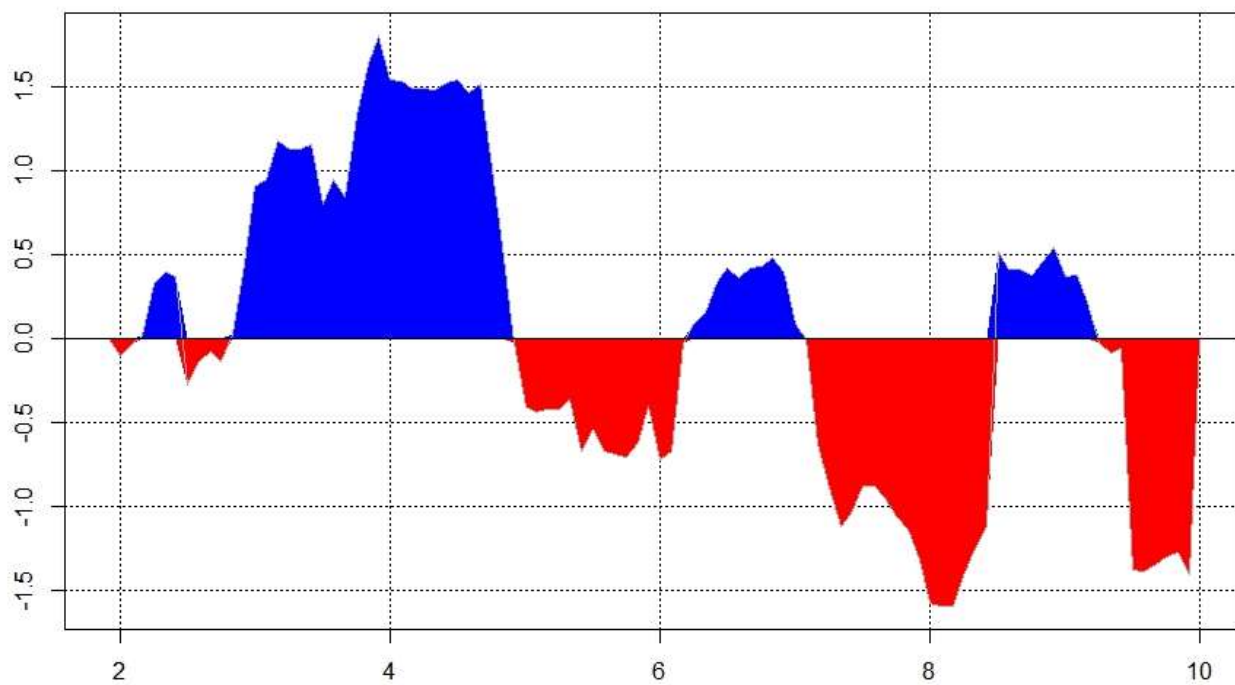




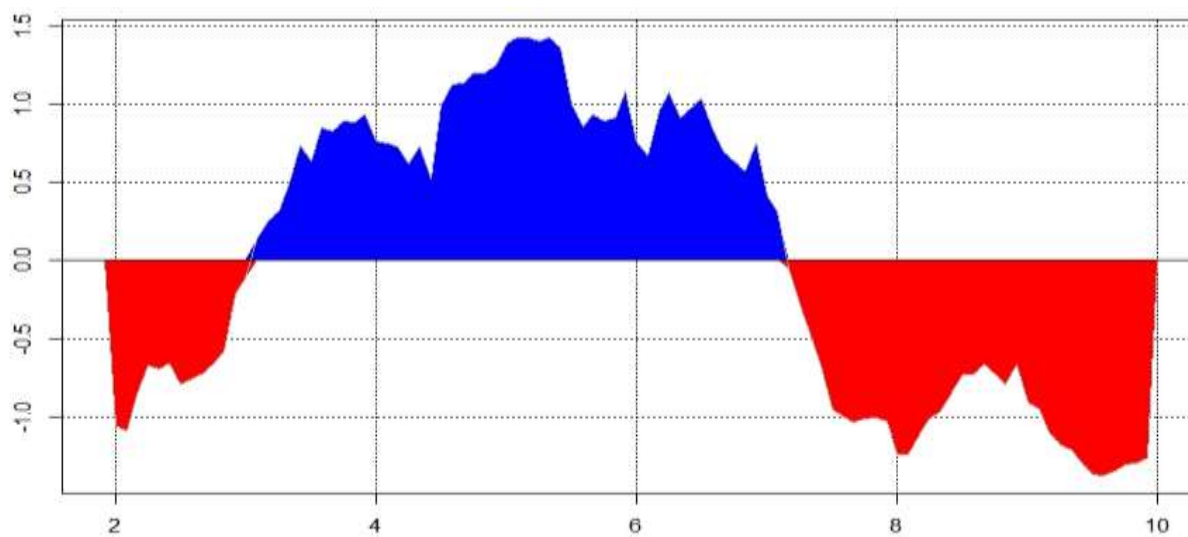
*Anexo 12. Índice estandarizado de caudal "SCI 6" Condoryacu*



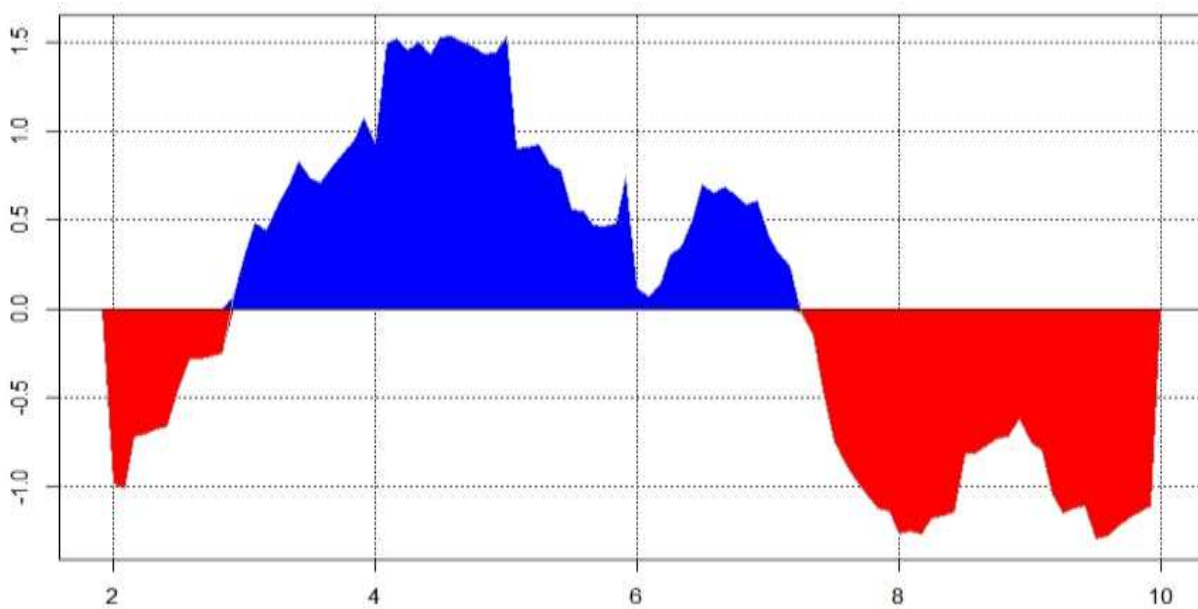
*Anexo 13. Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Nudpud*



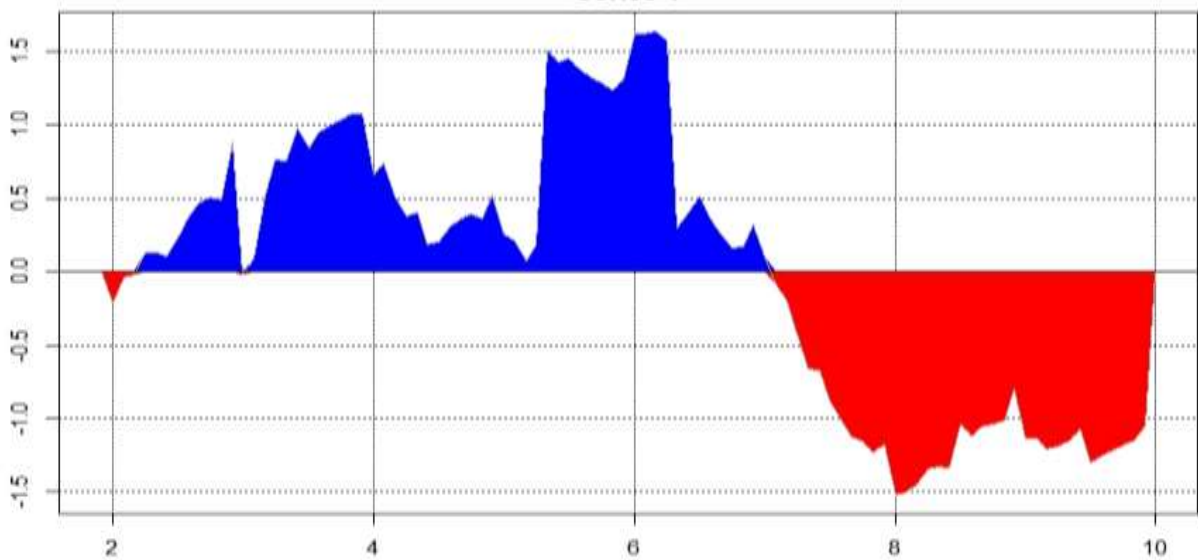
*Anexo 14. Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Llaucay*



*Anexo 15. Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Mapayacu*



*Anexo 16. Índice estandarizado de caudal "SCI 12" Condoryacu*



Anexo 17. Análisis de la calidad del agua

Descripción	Rango	Color
MALA	26-50	naranja
REGULAR	51-70	amarillo
BUENO	71-90	verde
EXCELENTE	91-100	azul

Valores estadísticos para la calidad del agua														Promedio	Clasificación "ICA"	Descripción
AÑO	MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE			
2010	Llaucay	61,00	61	60	58	61	61	55	60	62	61	60	60	60,00	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	62	63	61	53	60	55	57	63	61	62	60	60	59,75	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	71	69	68	66	69	69	65	68	70	70	62	64	67,58	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	62	60	60	62	54	62	53	60	60	59	58	62	59,33	Amarillo	REGULAR
2011	Llaucay	63,42	62,2	68	55	50	58	56	47,69	59,41	61,48	63,13	65	59,11	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	68,1	60,5	67	66	69	56	50,72	44,49	58,64	60,72	60,42	65	60,55	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	65,04	69,09	69	69	73	69	67	51,37	71,12	71,52	67,51	62	67,05	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	57,87	57,96	62	56	49	62	62	42,53	51,62	55,36	58,5	62	56,40	Amarillo	REGULAR
2012	Llaucay	58,31	63,59	64	62,22	61,66	62,76	55	59,38	62,81	58,92	63,37	66	61,50	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	67,94	59,28	56	56,57	58,21	58,18	65	56,28	57,57	59,47	61,08	65	60,05	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	65,78	68,04	65	70,94	72,51	66,47	65	67,51	71,46	64,79	62,79	66	67,19	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	60,36	60,12	61	45,91	63,2	52,66	64	49,61	66,45	62,23	52,15	65	58,56	Amarillo	REGULAR
2013	Llaucay	63,58	61,91	58,75	62,95	55,24	61,14	57,18	63,78	62,81	57,98	64,94	59,45	60,81	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	61,7	62,52	60,09	61,65	62,02	60,91	58,08	58,02	59,12	60,53	62,55	61,93	60,76	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	66,14	68,61	72,32	72,39	66,45	70,03	71,09	69,5	69,37	70	66,89	63,87	68,89	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	63	60,93	63,84	56,38	55,81	56,33	61	60,73	59,2	52,18	59,81	59,21	59,04	Amarillo	REGULAR
2014	Llaucay	64,27	62,14	60,03	62,82	58,77	55,9	57,91	55,44	63,41	46,22	62,39	59,93	59,10	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	60,26	62,19	59	63,01	57,03	59,23	63,35	62,49	61,97	62,48	65,26	59,29	61,30	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	66,82	71,19	69,26	67,5	63,52	69,34	69,3	66,59	63,45	68,05	61,03	69,34	67,12	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	59,47	60,93	60,81	59,36	51,82	60,05	56,01	53,18	56,13	49,34	44,113	61,1	56,03	Amarillo	REGULAR
2015	Llaucay	61,96	61,72	59,64	62,28	46,87	44,86	57,85	58	62,84	56	61,95	52,92	57,24	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	58,99	61	52,92	62,45	62,12	52,45	62,89	58,12	61,49	62,28	64,59	52,76	59,34	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	60,76	63,36	62,71	66,99	51,1	56,49	68,43	64,62	62,75	62,98	59,26	57,09	61,38	Amarillo	REGULAR

	Mapayacu	53,98	60,42	60,12	60,8	60,22	65,22	55,6	55,45	56,38	57,62	51,28	62,12	58,27	Amarillo	REGULAR
<b>AÑO</b>	<b>MESES</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>			
<b>2016</b>	Llaucay	65	70,97	57,89	65,96	58,82	44,26	59,51	46,92	68,78	65,04	65,22	52,56	60,08	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	61,94	54,42	58,19	61,14	58,17	47,17	56,31	57,94	62,36	63,48	65,75	53,87	58,40	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	62,35	64,19	69,84	70,83	64,56	42,69	61,87	72,83	61,69	62,11	59,12	50,63	61,89	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	52,73	62,91	60,38	59,7	64,98	50,22	56,22	59,73	59,12	55,94	57,13	49,74	57,40	Amarillo	REGULAR
<b>AÑO</b>	<b>MESES</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>			
<b>2017</b>	Llaucay	66,2	63,34	58,05	67,32	60,37	53,92	59,81	51,94	68,06	65,4	65,22	41,81	60,12	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	61,34	54,42	58,19	61,14	58,34	47,36	61,35	59,56	63,92	62,84	65,45	53,47	58,95	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	61,47	86,03	63,67	67,21	64,64	52	69,26	65,44	62,57	69,11	60,08	50,17	64,30	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	54,5	57,9	61,5	59,67	60,23	62	56,22	56,27	64,2	60,12	55,98	48,61	58,10	Amarillo	REGULAR
<b>AÑO</b>	<b>MESES</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>			
<b>2018</b>	Llaucay	65,4	70,97	57,89	65,96	58,82	62,7	59,51	46,2	68,06	65,4	65,22	46,56	61,06	Amarillo	REGULAR
	Nudpud	61,34	54,42	58,19	61,14	58,17	52,69	63,75	56,32	62,36	62,34	65,45	47,17	58,61	Amarillo	REGULAR
	Condoryacu	61,47	86,09	63,84	67,38	63,76	56,64	69,26	65,44	63,57	63,31	60,08	57,52	64,86	Amarillo	REGULAR
	Mapayacu	48,18	60,7	61,1	59,67	62	51,36	56,22	60,13	56,3	54,63	60,23	52,62	56,93	Amarillo	REGULAR

*Anexo 18. Degradación cerca de la captación de Nudpud.*



*Anexo 19. Deforestación en el punto de captación de Llaucay*



*Anexo 20. Deforestación cerca de la captación de Mapayacu*

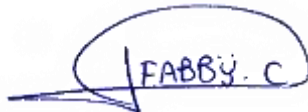


*Anexo 21. Escasez de agua en la captación de Condoryacu*



**Verónica Fabiola Cajamarca Morquecho** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302162821**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Análisis ambiental del riesgo de sequía en la microcuenca del río Tabacay, a partir de la calidad del recurso hídrico”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **24 de junio de 2021**



F: .....

**Verónica Fabiola Cajamarca Morquecho**  
C.I. **0302162821**