

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“PLAN DE GESTIÓN DE RECURSO HÍDRICO PARA UNA MICROCUENCA  
INTERANDINA USANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HYDRO-BID”**

Realizado por:

**BOLÍVAR ALEXANDER TANDALLA GUANOQUIZA**

Director del proyecto:

**Msc. José Salazar**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 12 de octubre de 2020

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**DECLARACION JURAMENTADA**

Yo, BOLIVAR ALEXANDER TANDALLA GUANOQUIZA, con cédula de identidad # 050234334-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



**FIRMA Y CÉDULA**

050234334-6

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“PLAN DE GESTIÓN DE RECURSO HÍDRICO PARA UNA MICROCUENCA INTERANDINA USANDO EL MODELO HIDROLÓGICO HYDRO-BID”**

Realizado por:

**BOLIVAR ALEXANDER TANDALLA GUANOQUIZA**

como Requisito para la Obtención del Título de:

**MASTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ha sido dirigido por el profesor

**Msc. José Salazar**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



**FIRMA**

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**DR. MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA MESTRE**

**ING. MSC. RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUILAR**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 12 de octubre de 2020

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

### **DEDICATORIA**

Dedicado a mis Hijos quienes son los pilares fundamentales de mi vida y mi razón de ser.

A mi Esposa por apoyarme incondicionalmente a fin de cumplir todas mis metas.

A mis Padres quienes me han dado el aliento e impulso para cumplir con nuevos objetivos.

Y a mis Hermanos por respaldarme en cada aventura, pues para ellos ahí siempre estaré.

# **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Directorio de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Chan, Parroquia Eloy Alfaro Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi por el apoyo absoluto en todo el proceso de campo y permitirme realizar la presente investigación.

A los Docentes de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK por impartir sus conocimientos, experiencias en las aulas.

Al tribunal de tesis por sus consejos y recomendaciones para que este trabajo se plasme de la mejor manera.

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

10/15/2020 9:36:57 AM.

Para someter a:

To be submitted:

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

Bolívar Tandalla<sup>1</sup>, José Salazar<sup>1</sup>, Miguel Martínez-Fresneda Mestre <sup>1</sup>,  
Rodolfo Jefferson Rubio <sup>1</sup>

1 Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,

Ecuador. 15/10/2020 9:36:57

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: José Salazar Msc, Universidad Internacional SEK,  
Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593-99 836 1264; email: [jose.salazar@uisek.edu.ec](mailto:jose.salazar@uisek.edu.ec)

|Título corto o Running title: Plan de gestión recurso hídrico usando el modelo hidrológico  
Hydro-BID.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

### *Resumen.*

Es sabido que el manejo responsable del recurso hídrico es hoy en día una prioridad y más aún en sectores en donde su cantidad y calidad apenas logran cubrir con las necesidades básicas y bajo ciertas circunstancias climáticas hasta puede escasear; y, son precisamente en estos lugares donde la brecha del desarrollo de nuevas tecnologías para el cuidado y gestión del agua no existen o no llegan ser ni las mínimas que aseguren continuidad del servicio. La introducción de HYDROBID como una herramienta que nos permita calcular la disponibilidad del agua que se puede aprovechar bajo un análisis temporal de una micro-cuenca se hace vital para dar seguridad alimentaria, el desarrollo socio-ambiental de las comunidades creando planes de gestión de fácil entendimiento y aplicación. Desarrollar un plan de gestión de recurso hídrico de una micro-cuenca a través del modelamiento hidrológico utilizando el software HYDROBID, nos permitirá utilizar una tendencia tecnológica para adoptar estrategias cuyo objetivo es proveer del recurso hídrico en cantidad y calidad dentro del área donde se desarrollan las comunidades y en especial las ubicadas en el callejón interandino.

**Palabras clave:** Chan, cuenca, agua, seguridad, estrategias, software.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

### ***Abstract.***

It is known that the responsible management of water resources is today a priority and even more so in sectors where its quantity and quality barely meet the basic needs and under certain climatic circumstances it may even be scarce; And it is precisely in these places where the gap in the development of new technologies for the care and management of water does not exist or is not even the minimum that ensures continuity of service. The introduction of HYDROBID as a tool that allows us to calculate the availability of water that can be used under a temporal analysis of a micro-basin is vital to provide food security, the socio-environmental development of the communities creating easy management plans understanding and application. Developing a water resource management plan for a watershed through hydrological modeling using the HYDROBID software, will allow us to use a technological trend to adopt strategies whose objective is to provide water resources in quantity and quality within the area where the communities and especially those located in the inter-Andean alley.

**Key words:** Chan, basin, water, security, strategies, software

# **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

## **INTRODUCCIÓN**

Los impactos del cambio climático (incluyendo cambios en la temperatura, los patrones de precipitación y el deshielo de los glaciares andinos) ya tienen repercusiones en los recursos hídricos de la región, afectando negativamente el caudal y la disponibilidad del agua en algunos de los ríos más importantes, como en el río Lempa (Centroamérica), río Cauca y Magdalena (Colombia) y aumentando el del Río de La Plata (Suramérica) (Magrin, 2014). Efectos relacionados al aumento de la escorrentía superficial también han sido reportados en la Laguna Los Patos (Brasil) y en la Laguna Mar Chiquita (Argentina), donde se experimentan consecuencias ecológicas y erosivas (Magrin, 2014). Por el contrario, la sequía 2014-2015 secó el Lago Popoó (Bolivia), ocasionando la pérdida de plantas y migración de más de 200 especies de aves, reptiles, peces, insectos y mamíferos, así como la afectación de 350 familias pesqueras (BBC Mundo, 2015).

Desde la peor sequía en Brasil en 80 años a nevadas récord en Norte América, el tema de la gestión y seguridad del recurso hídrico es noticia en todas las portadas de todas las revistas y diarios del mundo. Y es que el cambio climático solo sirve para agravar estos fenómenos que se vuelven cada vez más extremos. En los Andes, por ejemplo, ya están desapareciendo rápidamente los glaciares, y esto afectará el suministro de agua en ciudades como La Paz o Quito y muchos agricultores temen que en el futuro faltará agua para el riego (BID, 2017).

Por eso, es necesario contar con información confiable, precisa y oportuna para gestionar mejor el recurso hídrico desarrollando planes que fortalezcan la administración de éste, en el tiempo; haciendo uso del modelo computacional HYDROBID que cuenta con una Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe (ADH-LAC) (Hydrobidlac, 2016), podremos estimar el impacto de factores como el crecimiento poblacional y las variaciones en el

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

clima, así podremos tomar mejores medidas hoy para que no falte agua mañana, que se transformen un planes de gestión aplicables a corto, mediano y largo plazo.

Según la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas (OMS) (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2017), alrededor del 67 por ciento de la población mundial tiene agua corriente en sus domicilios. El 33 por ciento adicional tiene un abastecimiento de agua mejorable, que significa que tiene acceso a una fuente pública, un pozo, una bomba, un manantial protegido o la recogida de agua de lluvia segura. Otras pozas y manantiales no protegidos, así como ríos, lagos y los buques o camiones cisterna provistos de agua, se consideran sin garantía, lo que significa que plantean posibles riesgos para la salud de los usuarios, unido al coste humano de transportarla hasta los domicilios.

El Ecuador presenta altos porcentajes de cobertura de servicios de agua potable y saneamiento a nivel nacional. En el año 2012, la cobertura de servicios de agua potable a nivel de hogares fue del 74,5% y la cobertura de servicios de saneamiento fue del 93,2% (SENPLADES, 2013). Las tasas de cobertura a nivel de hogares incrementaron a diciembre 2016, el acceso a red pública alcanzó el 83,6 %, mientras que el acceso a saneamiento se incrementó al 95% ese mismo año. La contaminación del agua tiene un gran impacto tanto en la salud como en el medio ambiente (Morell & Hernandez, 2001), la apreciable concentración de componentes indeseables (por ej., cloruros, nitratos y metales pesados) limita la viabilidad del líquido y aumenta su toxicidad, por lo que el estudio de la contaminación, la medición de sus efectos y el control de su evolución son aspectos de suma importancia.

Las captaciones de agua para suministrar de agua al Barrio Chan proviene de vertientes superficiales ubicada en la en el Rio Isinche de Tobares, con un caudal total de  $1.90 \pm 0.44$  litros por segundo, a una distancia aproximada de 1.340 metros de distancia al lugar donde se ubican los

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

tanques de reserva (centro poblado), la cual es transportada a presión desde la estación de bombeo cercana a las captaciones utilizando tubería de policloruro de vinilo (PVC) de presión, 110 mm de diámetro hasta los tanques de almacenamiento y distribución construidos de hormigón si revestimiento, el agua almacenada no cuenta con tratamiento y desinfección, y, la tubería de la red de distribución es de policloruro de vinilo (PVC) de presión de diámetros inferiores a 75 mm, cada hogar cuneta con una acometida de ½ pulgada de diámetro.

Al tratarse de un agua para consumo humano por obligatoriedad se debe monitorear parámetros físico químicos y microbiológicos, en tal virtud in situ se monitorearon aspectos como: pH, Temperatura, y se realizó el análisis de agua en el laboratorio Junta Administradora de Agua Potable y alcantarillado Regional Yanahurco, aspectos microbiológicos como la presencia de coliformes totales y fecales, y físico químicos como color turbidez, fosfatos, sulfatos, sólidos en suspensión, entre otros; permitiendo plantear una gestión del recurso hídrico más eficiente.

De todo lo mencionado, resulta prioritario implementar buenas prácticas para el aprovechamiento del recurso hídrico en las comunidades rurales pues no cuentan con un plan de gestión claro, es ahí donde el uso de modelos hidrológicos enfocado a microcuencas será la herramienta para evaluar cambios antrópicos o climáticas y su efecto en el balance hídrico, conociendo así la cantidad de recurso hídrico con el que cuenta la población servida y como asegurar el servicio en la línea del tiempo, insumo que junto a la definición del área de la microcuenca, parámetros hidrológicos, ambientales y antrópicos permitirá el desarrollar el plan de gestión de recurso hídrico de una micro-cuenca de la región interandina.

# Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

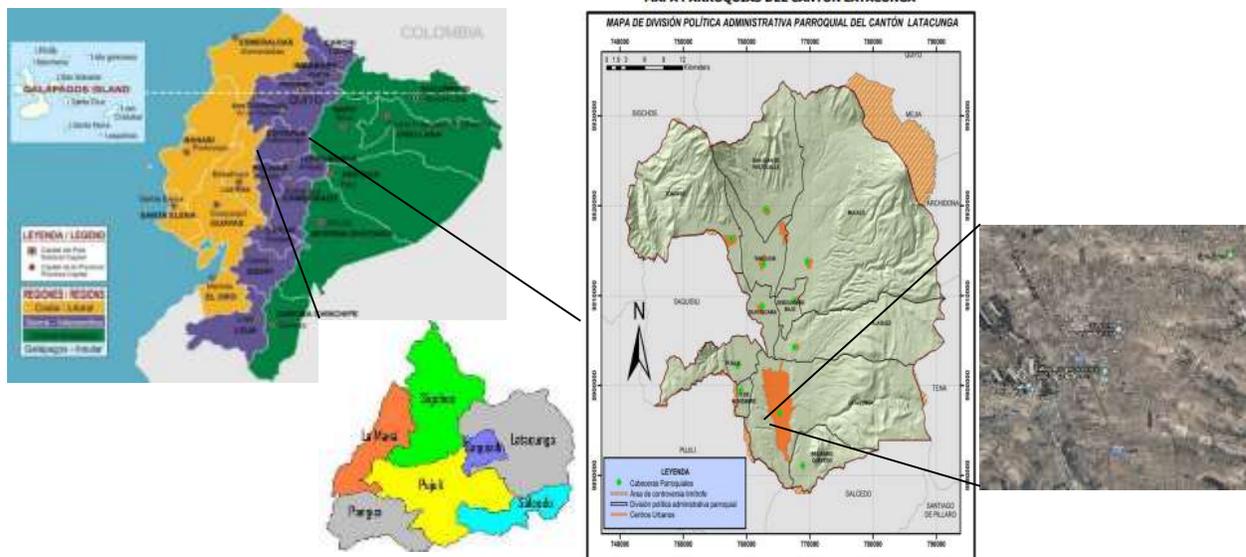
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El Barrio Chan se encuentra ubicado en la sierra central del país, al occidente del Cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, a 8 Km de la ciudad de Latacunga, el suministro de agua está a cargo de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Chan, es una comunidad ubicada en la zona rural de la ciudad de Latacunga, El Barrio se encuentra atravesado por el Paso Lateral Latacunga – Salcedo, previo a la construcción de esta vía de primer orden la principal actividad era la agrícola, tal como se puede observar en ña Figura 1.

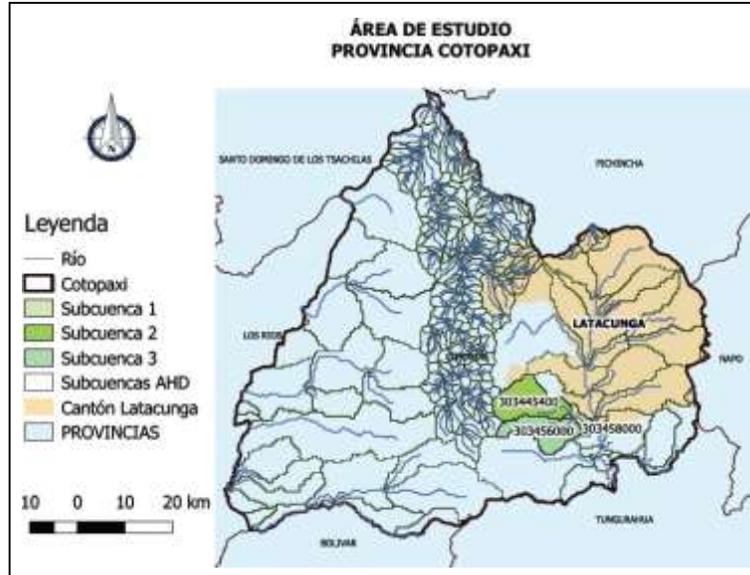
La población del Barrio Chan según al último censo de comunitario es de 1501, posee una extensión de 3,60 Km<sup>2</sup>. El Barrio Chan se encuentra en el piso climático denominado Ecuatorial Mesotermico Seco en donde las precipitaciones son inferiores a 500 mm por año, con una temperatura anual media de 14,1 °C, (LATACUNGA GAD, 2018).

**Figura 1.** Ubicación de área de estudio. Barrio Chan, Cantón Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.



## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

En la Figura 2., se muestra la microcuenca interandina, en donde, se encuentran ubicadas las captaciones y estación de bombeo del sistema de agua potable de la JAAP Regional Chan, al sur occidente del cantón Latacunga.



**Figura 2:** Delimitación de la zona de estudio

Hydro-BID es una herramienta de simulación hidrológica que utiliza como información de entrada datos meteorológicos diarios de precipitación y temperatura, los mismos que deben ser ingresados por el usuario y datos de uso y cobertura de suelo de cada una de las cuencas que han sido delimitadas para la región de Latinoamérica y el Caribe (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014).

HydroBID trabaja con una Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe (ADH-LAC) (Hydrobidlac, 2016), que funciona con la plataforma SQLite. En esta base se almacenan los datos climáticos, los datos de suelo, redes de drenaje y contiene la delimitación de más de 230000 cuencas para la región de Latinoamérica y el Caribe. Cada una de las subcuencas o microcuencas dentro de la AHD se definen mediante un código único "COMID".

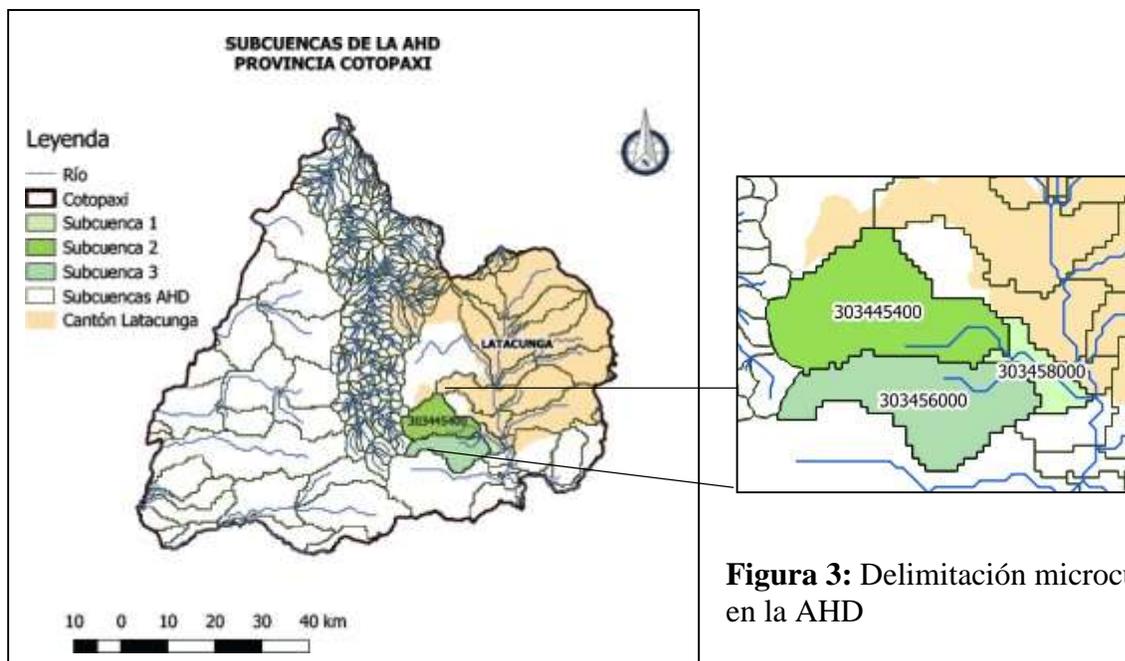
## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

En la provincia de Cotopaxi se encuentran delimitadas 413 subcuencas, de éstas se han definido tres microcuencas o subcuencas de la AHD que abarcan la zona de estudio las mismas que se observan en la Figura 3 y se identifican en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Microcuencas o subcuencas delimitadas en la AHD para la zona de estudio

SUBCUENCAS	COMID
Subcuenca 1	303458000
Subcuenca 2	303445400
Subcuenca 3	303456000

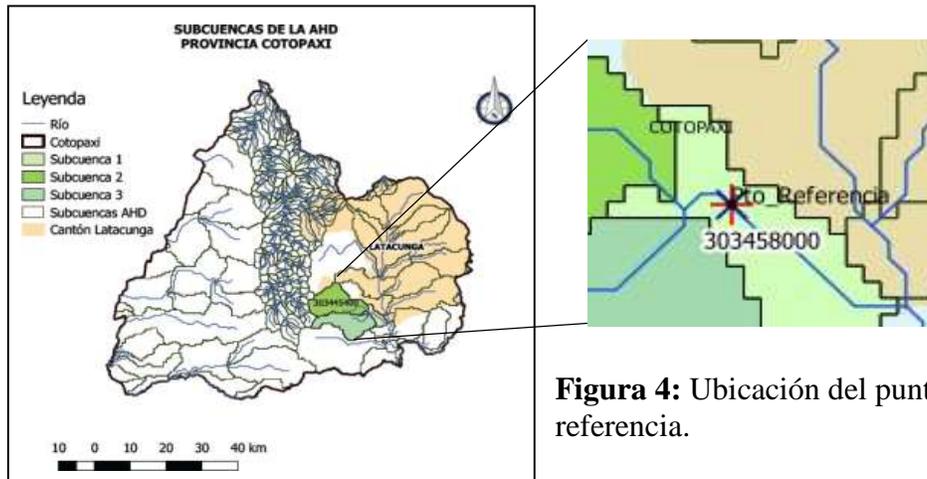
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3:** Delimitación microcuencas en la AHD

En la zona de estudio, se ha tomado como referencia un punto de muestro para el cálculo de caudales, ver Figura 4., que se ubica dentro de la microcuenca con el COMID 303458000, esta microcuenca permite ser referencia para la simulación de caudal de salida en el modelo HYDROBID.

# Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

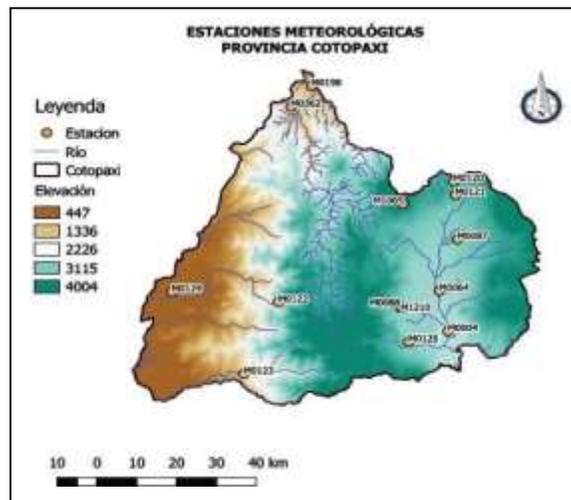


**Figura 4:** Ubicación del punto de referencia.

## Datos climáticos

### Precipitación

En la provincia de Cotopaxi, se localizan alrededor de 14 estaciones meteorológicas del INAMHI, de acuerdo a Figura 5. Sin embargo, no se cuentan con datos disponibles diarios de precipitación y temperatura requeridos como datos de ingreso para el modelo HydroBID.



**Figura 5.** Ubicación de las estaciones climáticas de la provincia de Cotopaxi.

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

Para ello, se recopiló información de bases de datos climáticos mundiales para la obtención de los datos de precipitación y temperatura diaria. Los datos fueron obtenidos de la CFSR (Climate Forecast System Reanalysis), que recopila datos de observaciones de globo de aire superior, observaciones de aviones y observaciones satelitales desde el año 1978 reprocesados y analizados para generar pronósticos de datos de precipitación, temperatura, humedad y viento. Es decir, estos registros dependen de datos históricos y operativos de observaciones reprocesadas en los centros de investigación meteorológica de todo el mundo como son los Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP), el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Mediano Alcance (ECMWF), la Agencia Meteorológica de Japón (JMA), la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF) y el Monzón Africano Análisis multidisciplinario (AMMA).

Par la zona de estudio, se determinaron 16 puntos que simularán la ubicación de pseudo estaciones climáticas para proveer la información diaria de precipitación en mm y temperatura en °C. Las coordenadas de las mismos se observan en la Tabla 2 y en la Figura 6.

**Tabla 2:** Coordenadas de las pseudo estaciones climáticas

PUNTOS	Longitud	Latitud	X	Y
5784	-78,438	-0,468	785228,36	9948181,85
5788	-78,750	-0,468	750425,16	9948193,81
5791	-79,063	-0,468	715629,46	9948204,21
5794	-79,375	-0,468	680840,22	9948213,05
8784	-78,438	-0,781	785211,51	9913636,36
8788	-78,750	-0,781	750410,37	9913656,28
8791	-79,063	-0,781	715616,73	9913673,61
8794	-79,375	-0,781	680829,55	9913688,35
11784	-78,438	-1,093	785186,24	9879090,93
11788	-78,750	-1,093	750388,18	9879118,82
11791	-79,063	-1,093	715597,63	9879143,07
11794	-79,375	-1,093	680813,53	9879163,71
14784	-78,438	-1,405	785152,54	9844545,22
14788	-78,750	-1,405	750358,61	9844581,07
14791	-79,063	-1,405	715572,17	9844612,26
14794	-79,375	-1,405	680792,19	9844638,78

**Fuente:** Elaboración propia

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

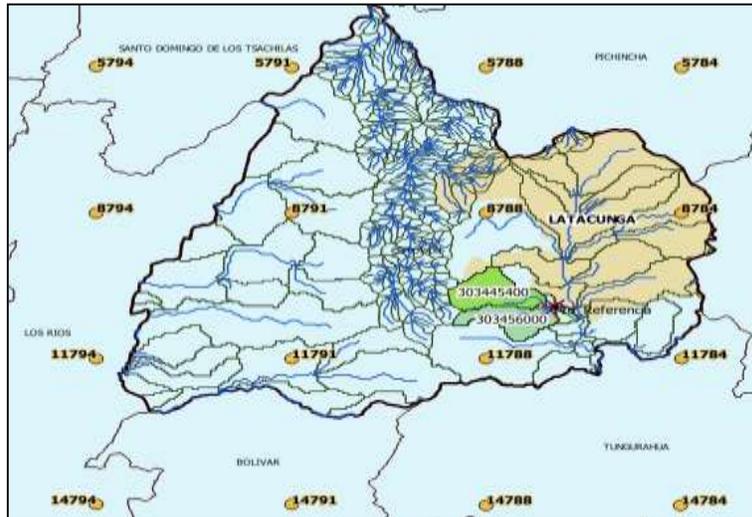


Figura 6. Ubicación de las pseudo estaciones climáticas

## Temperatura

El mapa de isotermas (Figura 7) medias multianuales para el periodo de 1981 al 2010, en la provincia de Cotopaxi, muestra que la temperatura varía desde los 7° C en la zona oriental hasta los 25 °C en la zona occidental.

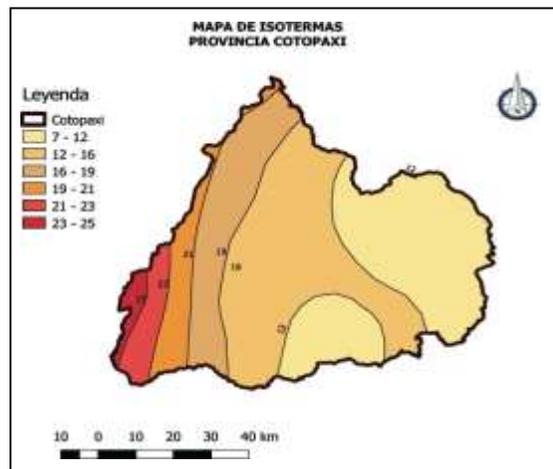


Figura 7. Variación temperatura media multianual (1981-2010)

# Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

## Uso de Suelo

En la provincia de Cotopaxi, según los datos del Sistema Nacional de Información Geográfica, la mayor área está ocupada por el sector agrícola, como se puede observar en la Figura 8 y el Gráfico 1.

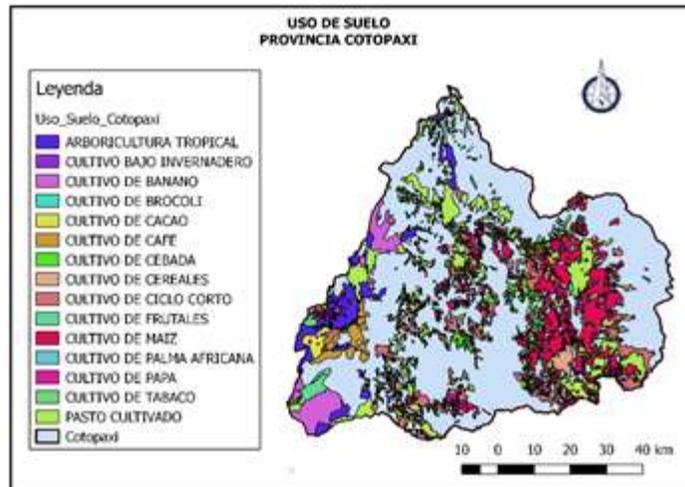


Figura 8. Uso del suelo provincia de Cotopaxi

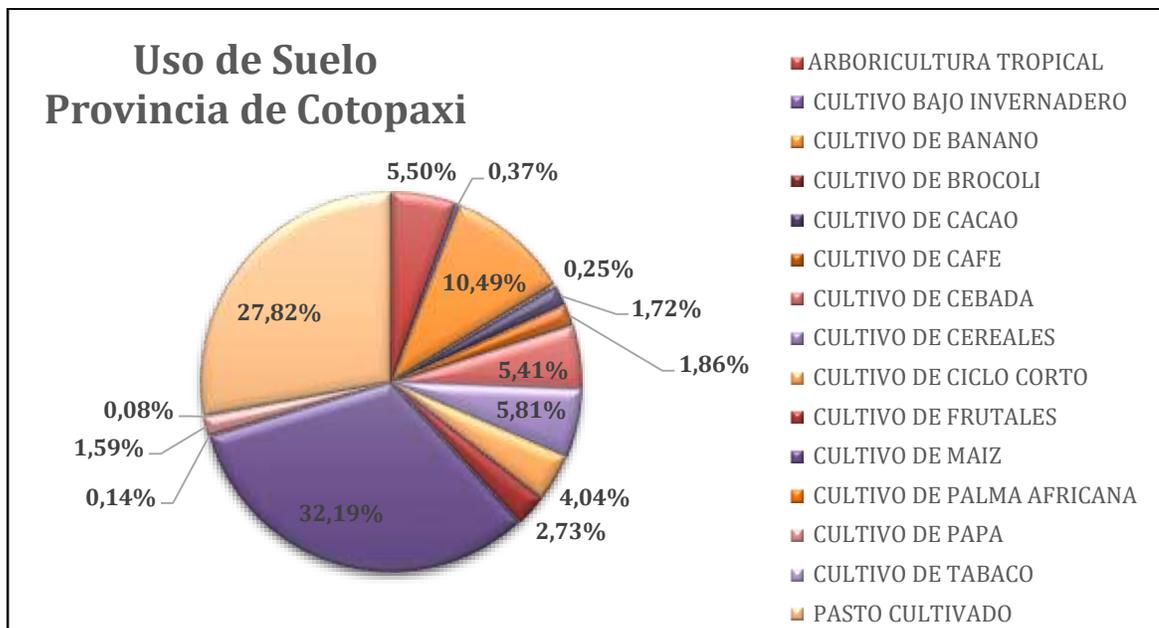


Gráfico 1. Uso de suelo de la provincia de Cotopaxi

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

HydroBID, trabaja con la base de datos AHD para Sudamérica, en la cual se encuentran almacenados los usos de suelo para las cuencas. Se identificaron los usos de suelo para las tres microcuencas de estudio.

En las microcuencas hidrográficas de la zona de estudio (303445400, 303456000 y 303458000), se encuentran definidos los siguientes datos de uso de suelo en la base de datos de hidrología analítica AHD, ver Tabla 3.

**Tabla 3.** Uso de Suelo en las microcuencas AHD

COMID	Ncld Id	CN	Grupo hidrológico
303458000	2	64	A
303458000	5	40	A
303458000	7	49	A
303458000	8	45	A
303458000	10	49	A
303458000	21	45	A
303456000	5	40	A
303456000	6	40	A
303456000	7	49	A
303456000	8	45	A
303456000	10	49	A
303456000	13	36	A
303456000	21	45	A
303445400	2	64	A
303445400	5	40	A
303445400	6	40	A
303445400	7	49	A
303445400	8	45	A
303445400	10	49	A
303445400	13	36	A
303445400	21	45	A

**Fuente:** AHD, HydroBID

Para entender de mejor manera en la Tabla 4 y Tabla 5, que representan los datos de suelo en la AHD:

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tablas 4.** Grupo Hidrológico

<b>HSG</b>	<b>DETALLE</b>	<b>CONTENIDO DEL SUELO</b>
A	Suelo con falta filtración	Arena, franco arenoso, grava exclusivamente drenada
B	Infiltración moderada	Franco limos, franco o limo
C	Baja infiltración	Franco arcillo arenoso
D	Baja infiltración (Alta escorrentía)	Franco arcilloso, franco, limoso o arcilla

**Fuente:** (Hong, Adler, Hossain, Curtis, & Huffman, 2007)

**Tablas 5.** Número de curva

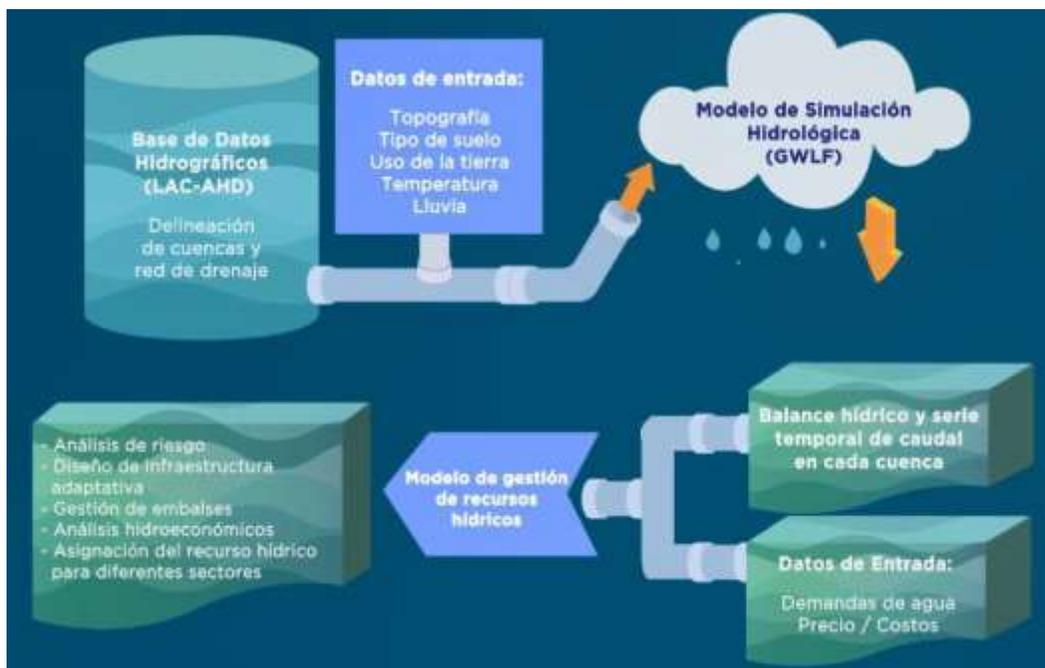
<b>TIPO DE USO DE SUELO</b>	<b>GRUPO HIDROLOGICO DE SUELO</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Tierras Urbanas y asentamientos humanos	82	88	92	93
Tierras agrícolas secas y pastizales	64	75	82	85
Tierras agrícolas irrigadas y pastizales	64	75	82	85
Tierras agrícolas mixtas secas/irrigadas	40	64	75	81
Agricultura / mosaico de pastizales	40	64	75	81
Agricultura / mosaico de bosques claros	40	64	75	81
Pastizales	49	70	80	87
Bosques de arbustos	45	57	68	74
Bosques mixtos de arbustos / pastizales	45	57	68	74
Sabana / arbóreo - arbustivo	49	70	80	87
Bosque decíduo de hoja ancha	36	60	73	79
Bosque decíduo de hoja acicular	36	60	73	79
Bosque siempre verde de hoja ancha	36	60	73	79
Bosque siempre verde de hoja acicular	36	60	73	79
Bosque mixto	36	60	73	79
Cuerpos de Agua	100	100	100	100
Humedales herbáceos	49	70	80	87
Humedales arbolados	49	70	80	87
Infértil o de poca vegetación	77	86	91	94
Tundra herbácea	45	57	68	74
Tundra arbolada	45	57	68	74
Tundra mixta	45	57	68	74
Tundra sin vegetación	77	86	91	94
Nieve o hielo	100	100	100	100

**Fuente:** (Rineer, Bruhn, Miralles, & Muñoz, 2014)

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

### Modelo HydroBID

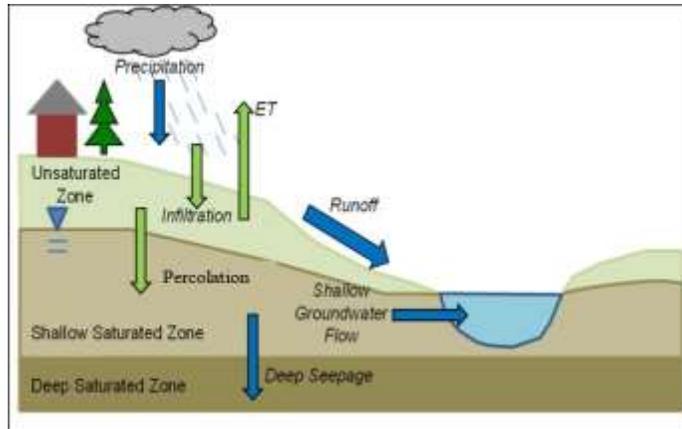
HydroBID es una herramienta de simulación hídrica creada por el Banco Inter-Americano de Desarrollo (BID) para el manejo y planificación del recurso hídrico en la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC) (BID, 2018). Esta herramienta contiene módulos de análisis hidrológico y climático para predecir la cantidad de agua dulce disponible a escala regional, nivel de cuencas y de sub-cuencas, utiliza como información de entrada datos diarios de precipitación (cm) y temperatura (°C) que deben ser ingresados por el usuario. La Figura 9 se identifican los componentes de entrada y salida del modelo hidrológico HydroBID.



**Figura 9.** Componentes de HydroBID. (BID, 2017)

La metodología que usa HydroBID para la simulación hidrológica (Figura 10) es la de Factor de Carga de Cauces Generalizados (GWLF) (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014).

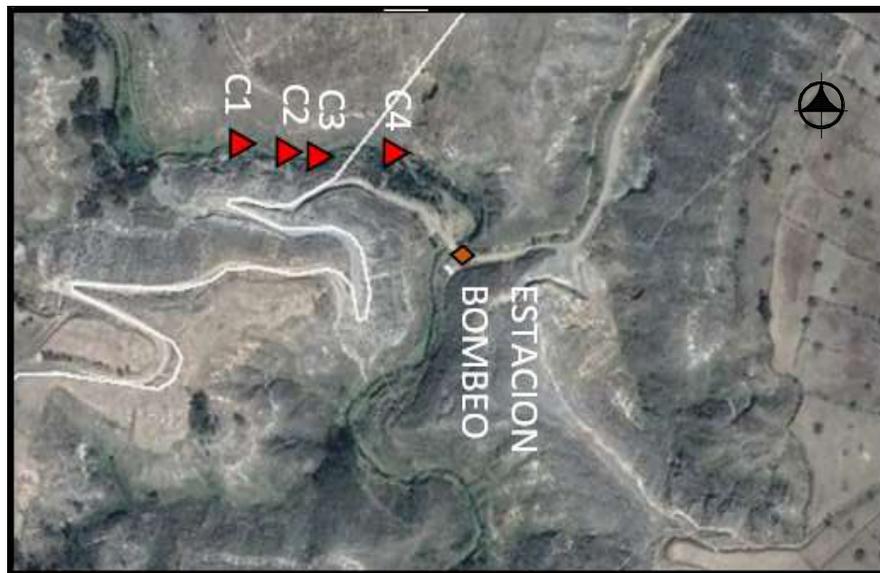
## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.



**Figura 10.** Representación esquemática del modelo GWLF (Modificado de Haith, Mandel, & Wu, 1996) (Rineer, Bruhn, Miralles, & Muñoz, 2014)

### Muestreo y Aforos de caudal

Las muestras de agua para análisis físicos, químicos y microbiológicos, y, los aforos de caudal se tomaron cada una de las captaciones. En la Figura 11, se representa la ubicación de cada captación denominadas C1, C2, C3 y C4, así también se identifica la Estación de bombeo en donde se ubica en tanque de regulación.



**Figura 11.** Imagen satelital ubicación captaciones. Fuente: Google

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Muestras para análisis fisicoquímicos:** Se tomaron una muestra simple de agua, para lo cual fueron utilizados envases plásticos de 1 litro limpios.

**Muestras para a análisis microbiológicos:** Se tomaron una muestra de 250 ml para las mediciones bacteriológicas, utilizando frascos completamente estériles.

**Análisis:** Una vez realizado el trabajo de campo, las muestras de agua fueron enviadas al laboratorio Junta Administradora de Agua Potable y alcantarillado Regional Yanahurco, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua para el análisis de los parámetros tanto físico químico como microbiológicos.

**Aforos de caudales:** Se realizó la medición del caudal captado por métodos volumétricos para cada una de las vertientes y en el tanque de bombeo.

## **Cambio Climático**

### **Modelos de Circulación General (GCM)**

Para la selección de los modelos a utilizar para los escenarios de Cambio Climático para la zona de estudio, se realizó el inventario de los modelos de circulación global (GCM) disponibles en la base de datos del Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados en su Fase 5 conocido por sus siglas CMIP5 creado para proporcionar un mejor entendimiento general de los impactos del cambio climático, y se tomaron los datos diarios existentes para precipitación y temperatura media, para aquellos modelos que contaran con datos disponibles para descarga de estas variables para el periodo futuro 2020-2050. (Paz, Kelman, Navas, Okamura, & Feliu, 2019), en su informe sobre cambio climático, compara los datos generados por GCM del proyecto CMIP5 con los datos observados en Ecuador, y con base a tres métricas (correlación, sesgo y raíz del error cuadrático medio) se establece que los modelos que aportan datos de mayor interés son CSIRO-MK3-6-0, GISS-E2\_R, IPSL-CMSA-MR y MIROC-ESM. En base a este criterio, se tomaron los datos de 2 modelos CSIRO-MK3-6-0 y MIROC-ESM, para la descarga de datos.

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

### Escenarios de cambio climático

Según el Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático (IPCC), existen varios escenarios para analizar los efectos del cambio climático. Los escenarios RCP o trayectorias de concentración representativas en español. Son escenarios que incluyen series de tiempo de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo / cobertura del suelo (Moss & Babiker, 2008).

**Tablas 6.** Escenarios RCP (Trayectorias de Concentración Representativas)

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>	<b>CO2 Concentración (ppm)</b>	<b>Calentamiento global hasta 2100 (Rango medio y probable)</b>
RCP 2.6	Pico en el forzamiento de reactivación $-3 \text{ W/m}^2$ antes del año 2100 y luego declina	490	1.0 (0.3-1.7) °C
RCP 4.5	Estabilización y sin vía de sobrepaso a $-4,5 \text{ W / m}^2$ a la estabilización después de 2.100 años	650	1.8 (1.1-2.6) °C
RCP 6.0	Estabilización y sin vía de sobrepaso a $-6 \text{ W / m}^2$ a la estabilización después de 2.100 años	850	2.2 (1.4-3.1) °C
RCP 8.5	Aumento de la vía de forzamiento de reactivación que conduce a $8,5 \text{ W / m}^2$ para el año 2100	1370	3.7 (2.6-4.8) °C

**Fuente:** (Kwak, St-Hilaire, Fateh, & Gilho, 2017)

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

En la Figura 12, se puede visualizar la variación de temperatura que existe en cada uno de los escenarios RCP. Para este estudio se tomó en cuenta el RCP 4.5, que considera un aumento de la temperatura hasta aproximadamente 1.8 °C hasta el 2100.

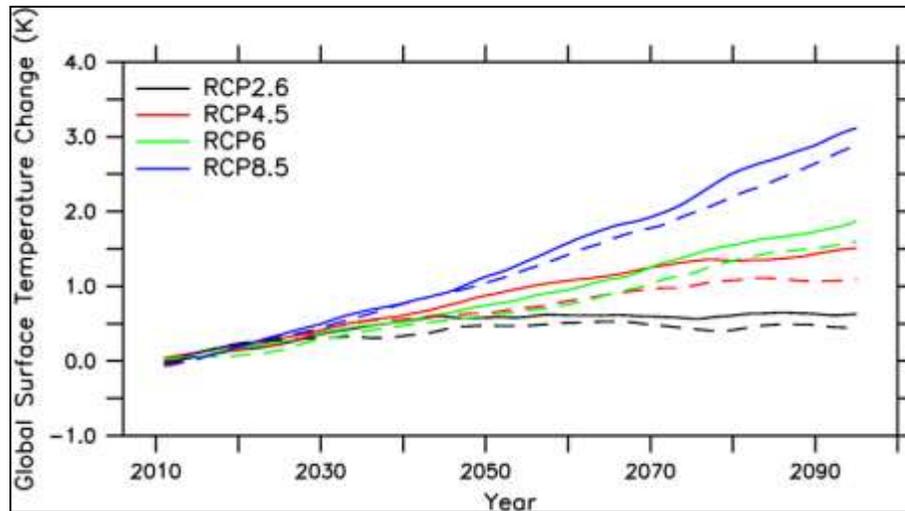


Figura 12. (Matear & Lenton, 2017)

La obtención de datos de escenarios de cambio climático, se logró utilizando la herramienta MarkSimGCM, que forma parte de la plataforma de generación de clima estocástica que permite recopilar datos meteorológicos diarios simulados en todo el mundo tales como temperatura máximas y mínimas, precipitación y la radiación solar específicos para países tropicales.

### Simulación en HydroBID

La simulación en HydroBID permite generar series de flujos de salida (caudal) en una microcuenca aguas arriba, en este caso se definió como microcuenca base la denominada con el COMID 303458000, la misma que abarca dos microcuencas aguas arriba (303445400 y la

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

303456000), que se identifican en la Figura 13. De estas se simularán los caudales generando como resultado series de flujo en escala diaria o mensual para el periodo de 2001 al 2010.



**Figura 13:** Microcuencas principales delimitadas para la simulación

### **Herramienta de interpolación climática de HydroBID**

HydroBID cuenta con un módulo de interpolación que utiliza la metodología IDW, con esto se generan los datos interpolados de precipitación y temperatura para cada una de las microcuencas almacenadas en la AHD. En este módulo se debe ingresar los datos de las microcuencas a utilizar y las estaciones de estudio que se van a interpolar. Para este estudio se consideraron las microcuencas de la provincia de Cotopaxi y los 16 puntos como pseudo estaciones.

Como resultado de la interpolación, se obtiene una nueva base de datos que contiene valores de precipitación y temperatura diarios para el periodo de estudio (2001 - 2010) para cada una de las microcuencas delimitadas previamente (413 de la provincia de Cotopaxi).

### **Parametrización y calibración**

La mayoría de los parámetros requeridos por el GWLF se acoplan en una base de datos para cada cuenca de la AHD, incluyendo el área de captación y longitud del arroyo (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014).

Los parámetros principales de GWLF se describen en la Tabla 7.

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tablas 7.** Principales parámetros del GWLF relacionados a la generación de flujos.

Parámetros	Descripción	Método de Estimación
Capacidad disponible de Agua del Suelo (U*)	Este parámetro activa el inicio de la percolación	Puede ser estimado por las características del suelo.
Número de Curva (CN)	Controla la cantidad inicial de abstracción y usada para calcular la detención	Se escoge usando el uso del suelo y el tipo de clasificación del suelo
Coefficiente de la Curva de Evaporación (CV)	Representa la variación estacional de la evaporación debido al crecimiento de la vegetación	Se estima mensualmente
Coefficiente de Recesión de Aguas Subterráneas (r)	Controla la tasa de flujo de agua subterránea desde la zona saturada	En estaciones de aforo en las cuencas, el parámetro de recesión puede ser estimado usando técnicas de separación hidrográfica.
Parámetro de Percolación (s)	Controla la tasa de percolación hacia el acuífero de aguas subterráneas profundas	Dependiendo de la formación geológica, los valores de percolación pueden ser muy variables

**Fuente:** (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014)

HydroBID utiliza siete parámetros para realizar la simulación de caudales de salida de una cuenca hidrográfica, la calibración consiste en la variación de cada uno de estos parámetros de forma manual. Las características de los parámetros de calibración se detallan en la Tabla 8.

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tabla 8.** Características de los parámetros utilizados en la simulación con HydroBID

<b>Parámetro</b>	<b>Detalle</b>	<b>Rango</b>
Número de Curva (CN)	Caracteriza el tipo y la hidrología de suelo.	0.5 - 1.2
Contenido disponible de agua (AWC)	Estima el monto de agua que se puede almacenar en el suelo para ser usado por las plantas, afectando la infiltración hacia las aguas subterráneas.	0.1 - 1.5
Coefficiente de Recesión (R)	Caracteriza como el agua subterránea cerca de la superficie contribuye a los caudales en los ríos después de grandes eventos de caudal.	0.001-0.75
Pérdidas por infiltración (Seepage)	Intercambio entre el agua cerca de la superficie hacia las zonas más profundas.	0.001-0.1
Factor de evapotranspiración en temporada inicial de cultivo (ET1)	Depende de la presencia y tipo de cultivo, indica un aumento adicional de pérdidas por evapotranspiración.	0.1 - 1
Factor de evapotranspiración en temporada final de cultivo (ET2)	Depende de la presencia y tipo de cultivo, indica una disminución de las pérdidas por evapotranspiración.	0.1 - 1
% de superficie impermeable (ICP)	Indica el porcentaje de superficie impermeable en la subcuenca.	1

**Fuente:** (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014)

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

### RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, la calibración del modelo HydroBID se realiza de forma manual, en este trabajo se generaron cinco posibles escenarios de simulación, los mismos que se detallan a continuación en la Tabla 9.

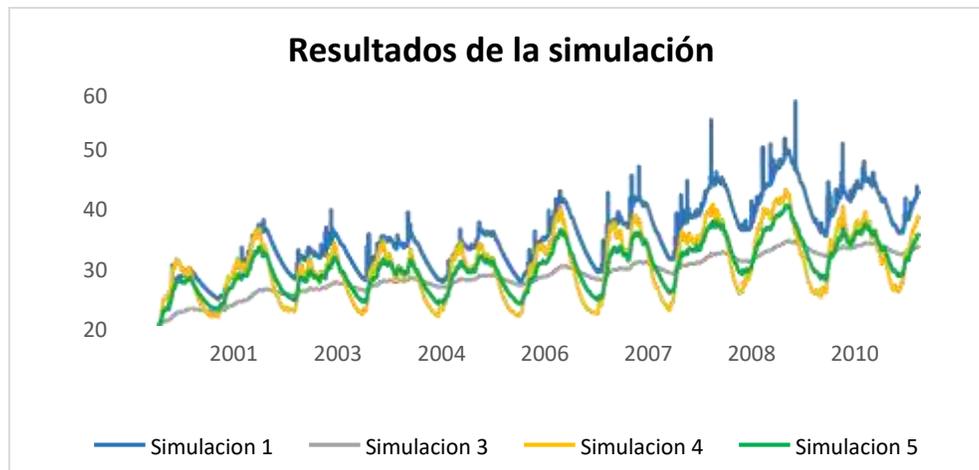
**Tabla 9.** Parámetros utilizados en cada uno de los escenarios de simulación

Escenarios / simulación		1	2	3	4	5
Parámetros	Numero de Curva	0,8	0,1	0,5	0,5	0,5
	AWC	1	1	1	1	1
	R Coeficiente	0,005	0,0001	0,001	0,01	0,005
	Infiltración	0,001	0,0001	0,001	0,01	0,005
	ET1	1	1,5	1	1	1
	ET2	1	1,5	0,5	0,5	0,5
	ICP	1	1	1	1	1

**Fuente:** Elaboración propia

### Caudales diarios

En cada uno de los escenarios, se obtuvieron series diarias de caudal en m<sup>3</sup>/s, los mismos que se muestran en las figuras 14 y 15.



**Figura 14.** Resultados de la simulación en el escenario 1, 3, 4 y 5 (Caudales diarios)

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.



**Figura 15:** Resultados de la simulación en el escenario 2 y 3 (Caudales diarios)

Como se puede observar en las Figuras 14 y 15, los escenarios 1, 4 y 5 son similares mostrando una variación creciente de caudal en los primeros meses de cada año y decreciente en los últimos meses. Sin embargo, los escenarios 2 y 3 muestran una variación de caudal que crece exponencialmente, esto se debe al uso de parámetros fuera del rango establecido para el modelo y que no muestran un comportamiento normal en una serie de caudal.

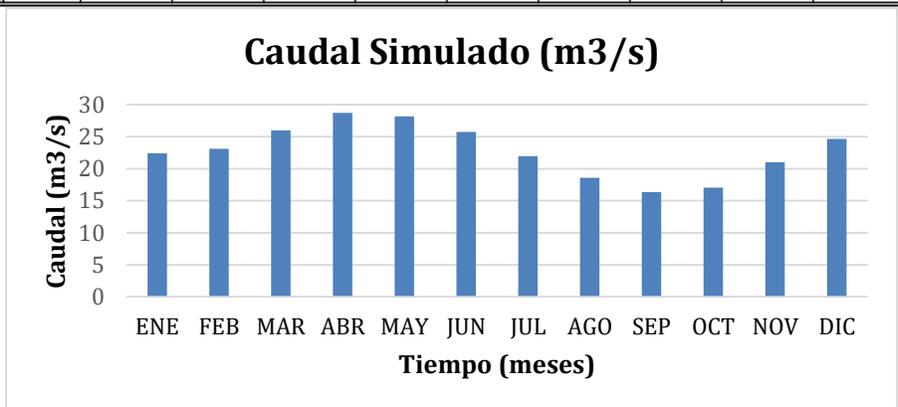
### Caudales mensuales

De igual forma, se generaron las Tablas 10, 11, 12, 13 y 14, y, las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20, a nivel mensual para observar el comportamiento del caudal a lo largo del año en cada uno de los escenarios.

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tabla 10.** Resultados de los caudales simulados en el escenario 1.

SIMULACION 1 - Caudal simulado (m3/s)											
MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
ENE	1,60	15,24	18,32	21,78	20,05	21,72	26,85	28,10	37,02	33,53	22,42
FEB	4,45	16,32	17,78	20,34	19,91	23,56	26,07	29,41	39,96	33,35	23,11
MAR	9,69	19,23	19,75	20,44	22,78	27,90	28,57	33,81	42,49	35,53	26,02
ABR	12,31	23,90	22,55	22,44	23,58	31,82	32,42	37,17	43,59	37,55	28,73
MAY	13,34	24,68	21,88	21,71	23,48	30,51	31,27	37,19	40,84	36,71	28,16
JUN	13,23	22,91	19,25	18,76	21,28	26,55	28,88	35,46	36,32	34,66	25,73
JUL	11,04	19,13	16,26	15,62	17,82	22,30	24,33	30,46	31,34	31,64	21,99
AGO	9,17	15,88	13,52	12,96	14,79	18,51	20,64	25,81	26,96	27,60	18,58
SEP	7,63	13,45	12,10	11,32	12,31	15,41	17,45	24,85	24,49	24,58	16,36
OCT	6,83	12,43	16,05	12,53	12,00	13,85	19,64	25,91	26,24	25,26	17,08
NOV	8,83	16,97	18,66	17,44	15,44	18,77	25,79	30,66	29,29	28,62	21,05
DIC	12,20	17,84	21,93	20,80	19,02	25,35	27,64	35,18	33,84	32,61	24,64
PROMEDIO	9,19	18,17	18,17	18,01	18,54	23,02	25,80	31,17	34,37	31,80	

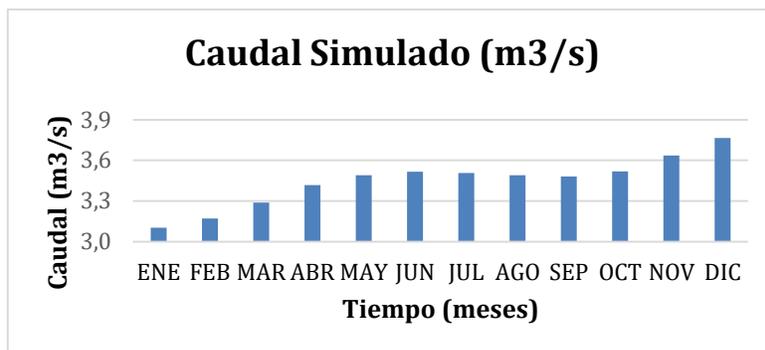


**Figura 16.** Variación promedio del caudal mensual simulado en el periodo de estudio (escenario 1)

**Tabla 11.** Resultados de los caudales simulados en el escenario 2.

SIMULACION 2 - Caudal simulado (m3/s)											
MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
ENE	0,03	0,65	1,37	2,05	2,57	3,15	3,94	4,72	5,82	6,74	3,10
FEB	0,09	0,71	1,40	2,08	2,62	3,23	3,99	4,81	5,98	6,80	3,17
MAR	0,21	0,82	1,49	2,14	2,73	3,38	4,09	4,98	6,13	6,92	3,29
ABR	0,30	0,98	1,61	2,22	2,81	3,55	4,26	5,13	6,28	7,04	3,42
MAY	0,36	1,08	1,67	2,28	2,87	3,62	4,33	5,24	6,33	7,12	3,49
JUN	0,41	1,12	1,68	2,28	2,89	3,62	4,36	5,31	6,35	7,16	3,52
JUL	0,40	1,12	1,67	2,27	2,87	3,60	4,34	5,29	6,33	7,17	3,51
AGO	0,40	1,11	1,66	2,26	2,85	3,58	4,32	5,26	6,30	7,16	3,49
SEP	0,40	1,10	1,65	2,24	2,84	3,55	4,29	5,30	6,30	7,14	3,48
OCT	0,40	1,11	1,76	2,28	2,84	3,54	4,35	5,37	6,35	7,19	3,52
NOV	0,44	1,23	1,86	2,41	2,93	3,63	4,53	5,53	6,50	7,31	3,64
DIC	0,54	1,30	1,99	2,53	3,04	3,84	4,63	5,69	6,65	7,45	3,76
PROMEDIO	0,33	1,03	1,65	2,25	2,82	3,52	4,29	5,22	6,28	7,10	

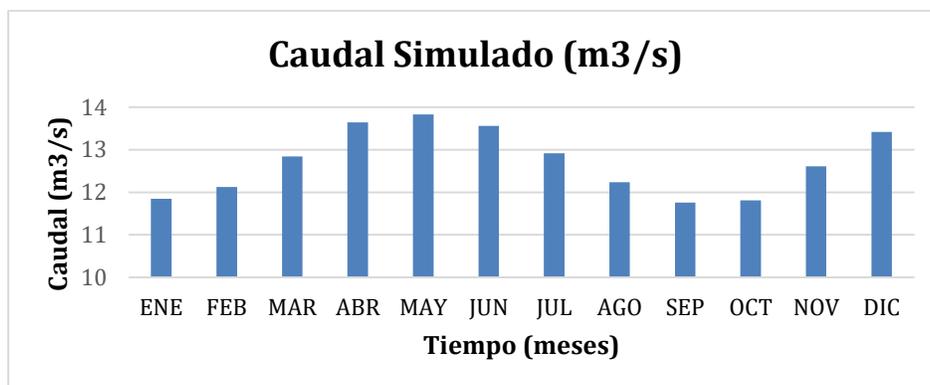
**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**



**Figura 17:** Variación promedio del caudal mensual simulado en el periodo de estudio (escenario 2)

**Tabla 12.** Resultados de los caudales simulados en el escenario 3.

SIMULACION 3 - Caudal simulado (m3/s)											
MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
ENE	0,34	5,59	9,08	11,21	11,43	12,13	14,25	15,64	19,07	19,75	11,85
FEB	1,01	6,04	9,11	11,03	11,48	12,55	14,28	16,02	19,98	19,71	12,12
MAR	2,23	6,92	9,57	11,20	12,12	13,59	14,72	17,08	20,73	20,28	12,84
ABR	3,11	8,24	10,38	11,59	12,48	14,69	15,88	17,93	21,39	20,76	13,65
MAY	3,62	8,83	10,56	11,75	12,61	14,78	15,96	18,33	21,05	20,79	13,83
JUN	3,92	8,87	10,21	11,24	12,28	14,19	15,67	18,29	20,44	20,52	13,56
JUL	3,70	8,37	9,70	10,60	11,60	13,40	14,85	17,46	19,52	19,94	12,91
AGO	3,48	7,90	9,13	9,98	10,92	12,62	14,10	16,57	18,59	19,09	12,24
SEP	3,31	7,60	8,79	9,60	10,33	11,95	13,38	16,32	17,97	18,35	11,76
OCT	3,35	7,45	9,58	9,74	10,20	11,54	13,59	16,46	17,91	18,25	11,81
NOV	3,88	8,44	10,23	10,70	10,75	12,21	14,84	17,46	18,73	18,86	12,61
DIC	4,74	8,78	11,04	11,45	11,47	13,76	15,33	18,43	19,55	19,66	13,42
PROMEDIO	3,06	7,75	9,78	10,84	11,47	13,12	14,74	17,17	19,58	19,66	

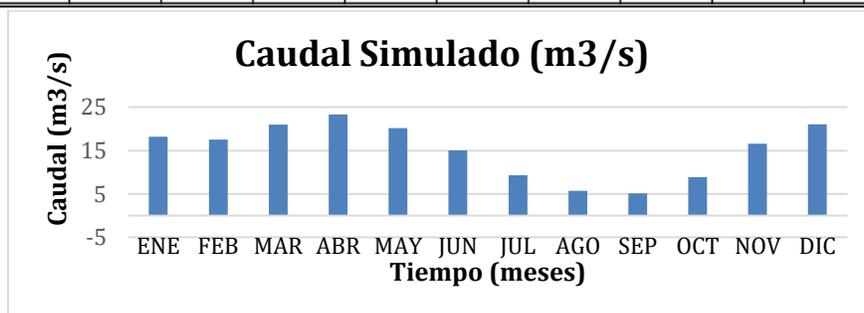


**Figura 18:** Variación promedio del caudal mensual simulado en el periodo de estudio (escenario 3)

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tabla 13.** Resultados de los caudales simulados en el escenario 4.

SIMULACION 4 - Caudal simulado (m3/s)											
MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
ENE	3,04	15,47	13,66	16,88	15,37	19,47	23,34	21,44	28,57	24,54	18,18
FEB	6,91	14,55	12,01	13,00	14,10	19,62	19,32	21,95	31,60	22,47	17,56
MAR	14,09	17,96	14,45	13,32	18,29	24,90	21,04	27,74	32,43	25,61	20,98
ABR	15,18	23,15	18,63	15,74	17,89	28,00	26,84	29,13	31,92	27,00	23,35
MAY	13,78	20,60	15,79	14,71	16,49	22,23	22,34	27,22	24,26	24,24	20,17
JUN	11,09	15,31	10,66	9,25	11,93	14,22	16,88	22,65	18,14	20,41	15,05
JUL	6,12	8,49	6,46	5,22	6,80	8,03	10,08	14,02	11,89	16,15	9,33
AGO	3,28	4,77	3,63	2,93	3,82	4,49	6,42	8,86	8,42	11,07	5,77
SEP	2,14	3,95	3,61	3,40	2,44	3,10	4,44	10,69	8,34	9,14	5,12
OCT	3,13	4,67	12,50	7,59	5,44	4,16	10,86	14,63	12,79	13,06	8,88
NOV	7,59	13,82	16,27	16,16	12,06	13,31	21,72	23,44	21,39	20,24	16,60
DIC	12,47	14,13	19,66	19,41	17,15	24,77	22,31	28,26	26,70	25,95	21,08
PROMEDIO	8,23	13,07	12,28	11,47	11,82	15,52	17,13	20,84	21,37	19,99	

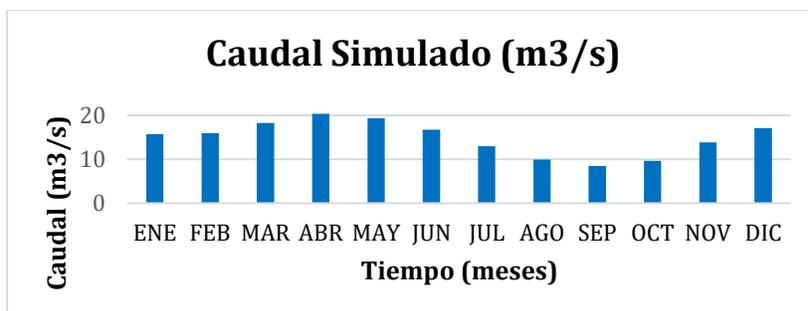


**Figura 19:** Variación promedio del caudal mensual simulado en el periodo de estudio (escenario 4)

**Tabla 14:** Resultados de los caudales simulados en el escenario 5.

SIMULACION 5 - Caudal simulado (m3/s)											
MES	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
ENE	1,62	12,09	12,52	15,36	14,09	15,81	19,26	19,23	25,06	22,31	15,74
FEB	4,24	12,43	11,82	13,51	13,64	16,77	18,07	20,05	27,65	21,57	15,97
MAR	8,93	14,81	13,20	13,59	16,06	20,43	19,17	23,79	29,09	23,63	18,27
ABR	11,02	18,63	15,90	14,77	16,52	23,45	23,10	25,69	29,76	24,90	20,37
MAY	11,25	18,42	15,13	14,57	16,05	21,45	21,54	25,50	25,95	23,91	19,38
JUN	10,47	16,04	12,36	11,51	13,63	17,07	18,70	23,39	22,01	21,86	16,70
JUL	7,78	11,92	9,51	8,59	10,24	12,78	14,29	18,29	17,44	18,97	12,98
AGO	5,70	8,86	7,06	6,38	7,60	9,47	11,08	14,15	13,92	15,38	9,96
SEP	4,40	7,30	6,10	5,69	5,81	7,35	8,68	13,72	12,40	13,10	8,45
OCT	4,32	6,76	10,44	7,41	6,53	6,78	11,04	15,09	13,71	14,14	9,62
NOV	6,47	11,42	13,12	12,32	9,99	11,14	17,25	19,98	18,44	17,96	13,81
DIC	9,61	12,17	15,95	15,21	13,42	18,33	18,79	23,63	22,21	21,79	17,11
PROMEDIO	7,15	12,57	11,93	11,58	11,96	15,07	16,75	20,21	21,47	19,96	

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**



**Figura 20:** Variación promedio del caudal mensual simulado en el periodo de estudio (escenario 5)

Como se observa en las figuras anteriores, la variación de caudal en la zona en los escenarios 1, 4 y 5 es bimodal, con picos de caudal en los meses de abril y diciembre y con menor caudal en los meses de julio a octubre. Esto fenómeno tienen estrecha relación con los periodos de lluvia en la región Sierra del país siendo estos desde marzo a mayo y la temporada seca o de verano en los meses de julio a septiembre.

**Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos:**

Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de las muestras de aguas tomadas en todos los puntos de muestreo y una vez realizada la comparación con la norma NTE INEN 1108, ver Tabla 15, permitieron determinar que el agua que capta la JAAP Regional Chan, no cumple con los parámetros establecidos en la en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, en especial parámetros de Dureza, Alcalinidad, fosfatos, Sulfatos y Arsénico.

**Tabla 15:** Resultados Análisis Físico, Químico y Microbiológico captaciones.

No.	PARAMETROS	UNID.	LMP	RESULTADOS							
				CAPTACION 1		CAPTACION 2		CAPTACION 3		CAPTACION 4	
				abr-19	ene-20	abr-19	ene-20	abr-19	ene-20	abr-19	ene-20
1	<b>COLOR</b>	und Co/Pt	15	0	1	0	3.5	-	2	12	8
2	<b>TURBIDEZ</b>	UNT	5	3	0	5	1	-	2	0	4
3	<b>TEMPERATURA</b>	°C	15	14.7	13.9	14.4	13.2	-	13.2	14.6	13.1
4	<b>ALCALINIDAD</b>	mg CACO3/L	<500	580	409	580	528	-	601	620	425
5	<b>DUREZA</b>	mg CACO3/L	500	622	501	622	501	-	624	607	485
6	<b>CONDUCTIVIDAD</b>	μ Siems/cm	<1250	1273	825	1273	678	-	847	1200	601
7	<b>pH</b>	Unid	6,5 - 8,5	8.6	7.8	8.2	8	-	8.2	6.7	7.9

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

8	<b>HIERRO</b>	mg/L	0,3**	0.001	0.001	0.02	0.01	-	0.001	0.03	0.02
9	<b>FOSFATOS</b>	mg/L	<0,3**	2.61	0.7	2.61	0.45	-	0.9	1.25	0.65
10	<b>SULFATOS</b>	mg/L	200**	1700	280	1400	456	-	485	1200	321
11	<b>SOLIDOS EN SUSPENSION</b>	mg/L	220***	0	0	0	0	-	0	0	0
12	<b>NITRATOS</b>	mg/L	50	3.330	0.1	0.01	0.004	-	0.001	0.02	0.01
13	<b>NITRITOS</b>	mg/L	3	0.010	0.04	0.01	0.004	-	0.001	0.03	0.013
14	<b>AMONIOS</b>	mg/L	<0.50**	0.080	0.02	0.02	0.001	-	0.001	0.09	0.001
15	<b>FLUORUROS</b>	mg/L	1,5	0.001	0.4	0.01	0.8	-	0.8	0.01	0.5
16	<b>ARSENICO</b>	mg/L	10	112	12	122	14	-	16	112	9
17	<b>Coliformes Totales</b>	UFC/100ml	<1*	0	9	0	1	-	1	0	0
18	<b>Coliformes fecales</b>	UFC/100ml	<1*	0	3	0	1	-	0	0	0

\* Valores referenciales para aguas de consumo domestico

\*\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico NTE INEN 1108:2011

\*\*\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico Libro VI Anexo I

**Fuente:** Elaboración propia

### Aforos de caudales

Los caudales medidos para cada una de las captaciones y tanque de bombeo se exponen en la siguiente Tabla 16.

**Tabla 16:** Aforo de caudales.

CAPTACION	UNIDAD	AFOROS			
		ESTACIONALES			
		mar-19	ago-19	abr-20	ago-20
VERTIENTE 1	l/s	0.27	0.24	0.26	0.19
VERTIENTE 2	l/s	0.03	0.06	0.14	1.12
VERTIENTE 3	l/s	0.11	0.11	0.12	0.12
VERTIENTE 4	l/s	0.75	0.16	0.71	0.50
<b>CAUDAL TOTAL CAPTADO</b>	l/s	<b>1.16</b>	<b>0.57</b>	<b>1.22</b>	<b>1.93</b>

**Fuente:** Elaboración propia

### Cambio climático

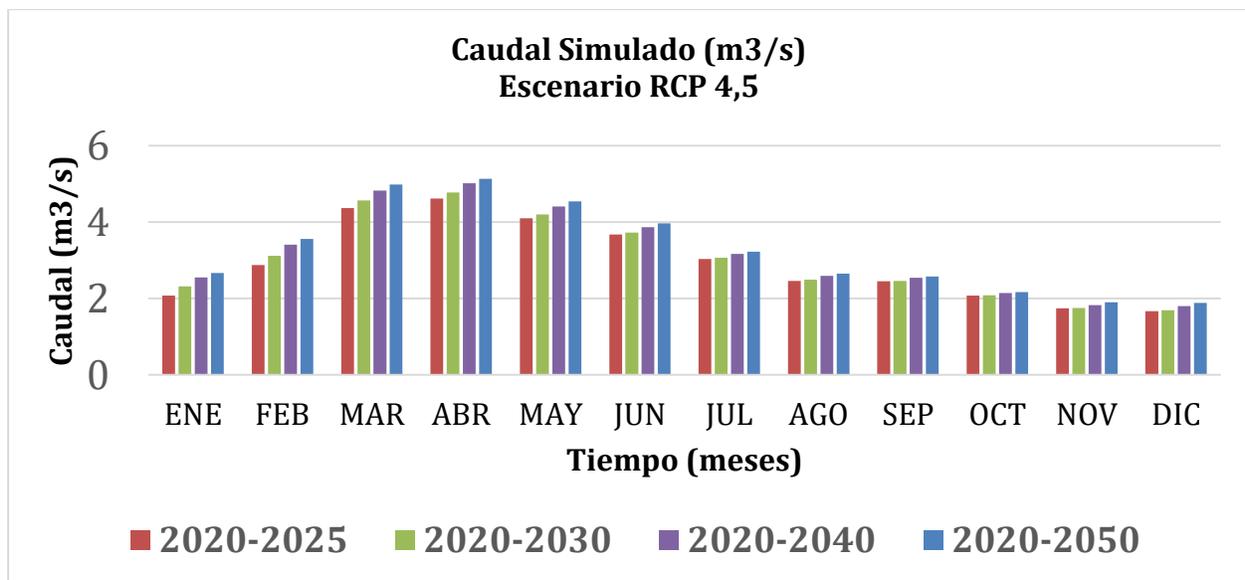
El resultado de la simulación en el escenario de cambio climático RCP 4.5, entre los años 2020 a 2050 y distribuidos en periodos de 5, 10, 20, y 30 años, son producto del tratamiento de datos anuales de los datos futuros para cada una de las pseudo estaciones y enfocadas en el escenario de simulación 5, y que se detalla en la Tabla 17 y Figura 21.

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Tabla 17:** Caudales anuales de simulación por Cambio climático.

MES	PROMEDIO 2020-2050	PROMEDIO 2020-2025	PROMEDIO 2020-2030	PROMEDIO 2020-2040
ENE	2.669	2.077	2.314	2.545
FEB	3.560	2.870	3.117	3.405
MAR	4.983	4.370	4.565	4.829
ABR	5.139	4.621	4.773	5.017
MAY	4.541	4.098	4.196	4.411
JUN	3.967	3.678	3.722	3.869
JUL	3.223	3.031	3.068	3.168
AGO	2.647	2.456	2.493	2.590
SEP	2.571	2.450	2.460	2.536
OCT	2.165	2.075	2.079	2.138
NOV	1.895	1.740	1.745	1.820
DIC	1.882	1.665	1.688	1.798

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 21:** Variación promedio del caudal mensual simulado para el escenario RCP 4,5 (simulación 5)

**Análisis demográfico**

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

Para determinar la población, se tomó como base los datos censales obtenidos de las encuestas comunitarias realizadas en los años 2010 y 2019, y que se resume en la Tabla 18.

**Población Servida.** - La población servida en el año 2019, representa el número de habitantes que se encuentran dispersos en el área donde se asienta el “Barrio Chan, de la parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga”, y que, de acuerdo a la encuesta comunitaria realizada, ésta población es de 1047 hab. La JAAP Regional Chan posee el registro que en el año 2010 su población era de 874 hab.; es decir, que en el periodo 2010-2019 la tasa de crecimiento es del 1.82%.

**Población Futura.** - Tomando en consideración la tasa de crecimiento del periodo 2010-2019 se ha determinado que para un tiempo de vida útil adicional del sistema de abastecimiento agua de 20 años, la población futura será 1501 hab., para el año 2039, y que se encuentran distribuidos de área de servicio de 360 Ha.

**Dotaciones.** - De acuerdo a las recomendaciones dadas por la Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico (SAPYSB), el valor de la dotación a utilizar será de: 120 l/hab-día, debido a que la zona de implantación del proyecto tiene un clima frío y por su gran cercanía a la ciudad de Latacunga.

**Tabla 18:** Análisis del crecimiento Poblacional y el caudal de captación

<b>NOMBRE VERTIENTES:</b>		VERTIENTE 1, VERTIENTE 2, VERTIENTE 3, VERTIENTE 4	
<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA:</b>		9893295, 762600; 2850 msnm	
<b>CAUDAL CAPTADO:</b>		1.22 l/seg	
<b>CAUDAL CONCESIONADO:</b>		4.00 l/seg	

<b>POBLACIÓN SERVIDA (hab):</b>	<b>MAYORES A 18 AÑOS</b>	715	<b>68.29%</b>
	<b>MENORES DE 18 AÑOS</b>	332	<b>31.71%</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>1047</b>	
<b>ANÁLISIS POR:</b>		<b>Tasa de crecimiento</b>	<b>Densidad poblacional</b>

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

	r = 1.82 %	45 hab/Ha
<b>POBLACIÓN SERVIDA FUTURA (hab):</b>	1501	1500
<b>PERÍODO DE DISEÑO (n años):</b>	20	2.57
<b>DOTACION MEDIA FUTURA</b>	120 l/hab/día	
<b>CAUDAL CAPTACIÓN NECESARIO (l/seg):</b>	2.84	2.84
<b>DEFICIT DE CAUDAL (l/seg):</b>	1.62	1.62

Fuente: Elaboración propia

### Variaciones de consumo

La oferta del líquido vital está ligada directamente con el caudal de la fuente de abastecimiento y el tanque de reserva, y depende de la ley de recursos hídricos regidos por la Autoridad nacional del agua SENAGUA; mientras la demanda está ligada directamente con la población y sus actividades.

La Junta Administradora de Agua Regional Chan, registra mensualmente el record del consumo de agua de cada conexión domiciliaria priorizando el uso doméstico, valores que fueron tabulados durante el período enero - abril 2020 en la Figura 22. El consumo medio mensual es de  $10.40 \pm 3.00 \text{ m}^3$  por vivienda



## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

**Figura 22:** Variación de consumo mensual enero – abril 2020

### **DISCUSIÓN**

La Constitución de la República considera al agua como un sector estratégico, por lo que el Estado se reserva el derecho de su administración, control y gestión, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. En esa línea, reconoce al agua potable como un elemento para alcanzar una vida digna (Concejo Nacional de Competencias (CNC), 2019).

Adicionalmente, en el transcurso del año 2014 mediante Registro Oficial 305 se publica la Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua y su reglamento realizado en el año 2015, mediante la cual se garantiza el derecho humano al agua, regula y controla la restauración de los recursos hídricos.

Según la Secretaria Nacional del Agua, la gestión comunitaria es la forma de prestación del servicio de agua en la zona rural más predominante debido a la existencia de unas 7.000 juntas administradoras de agua potable (JAAPs). Estas instituciones no pueden gestionar fondos públicos debido a que no son organizaciones de derecho público a pesar de que la Constitución del Ecuador y la LORHUyA mencionan la posibilidad de que los servicios de agua potable y saneamiento pueden ser prestados por las JAAPs (Concejo Nacional de Competencias (CNC), 2019).

En HydroBID, el flujo que se genera para cada cuenca es dirigido hasta la salida de alguna cuenca aguas abajo y se aplica la metodología de tiempo de retardo enrutamiento (lag-routing) de RTI. El tiempo de retardo se determina como el periodo que se demora el flujo generado en una cuenca hasta llegar a otra cuenca localizada aguas abajo y se obtiene de la división de la longitud del río para la velocidad promedio (se establece un valor por defecto de 0.5 m/s) (Moreda, Miralles, & Muñoz, 2014). Un ejemplo se muestra en la Figura 13.

La simulación hidrológica en HydroBID consiste en el cálculo de los flujos de salida de cuencas hidrográficas mediante un balance hidrológico generando caudales diarios y mensuales.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

Las cuencas a utilizar se definen y delimitan mediante la AHD. En este trabajo el proceso de simulación hidrológica se realizó de la siguiente manera: se delimitaron previamente las microcuencas para su parametrización, se ha considerado como la más representativa la simulación 5, la que permite analizar la disponibilidad de agua en el área de estudio. La parametrización incluida en el programa HydroBID para calibración de la simulación fueron ajustados de forma manual cada parámetro, los valores encontrados se reflejan en la Tabla 9.

La distribución espacial de la precipitación es muy variable ya que la lluvia puede originarse por procesos convectivos en la atmósfera dando lugar a nubes cumulonimbus locales provocando lluvias en áreas de hasta 10 km<sup>2</sup> o ser producto de paso de frentes generando precipitaciones en áreas muy extensas (Gracia, 1999). Según (Vuille, Bradley, & Keiming, 2000), los Andes ecuatorianos presentan una variabilidad bimodal de precipitación con dos periodos lluviosos y dos periodos secos. Los meses lluviosos son de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. En cambio, los periodos secos se observan en los meses de julio a agosto y de diciembre a febrero. En este sentido la simulación 5, encaja dentro de este comportamiento bimodal.

El área de estudio en cuanto al uso del suelo esta predominada por el grupo hidrológico A que indica que el suelo permite una alta filtración del agua, en estas condiciones la infiltración resulta ser mayor a la escorrentía lo que da lugar a mayor disponibilidad de agua a través de vertientes y pozos profundos.

El agua es fundamental para el desarrollo de las actividades socio-económicas y para lo cual la JAAP Regional Chan, ejecuta de forma parcial y no periódica el monitoreo de los parámetros físico, químicos y microbiológicos más aun cuando el consumo es el uso doméstico, asegurando por tal razón su abastecimiento, no cause daño a la salud y cumple con las disposiciones de los valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos emitidos mediante normativa correspondiente.

Según informes de las Naciones Unidas, la quinta parte de la población mundial vive en situación de escasez de agua, no acceden al agua, esta es de mala calidad o carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos. En el último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

y al mismo tiempo aumentó el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua, profundizándose las asimetrías. Si bien, en el planeta, hay agua potable para abastecer a todas las personas, esta se distribuye en forma asimétrica, está contaminada o se gestiona y distribuye de forma insostenible (UNESCO, 2016).

Al tener el resultado de los análisis físicos y químicos del agua, en los años 2019 y 2020, se observa que la presencia de alcalinidad, dureza, fosfatos, sulfatos, y presencia de arsénico siendo este último natural y de tendencia a desaparecer, superan los valores de la NTE INEN 1108 (NORMALIZACIÓN, 2014) de Agua Potable, parámetros que deben ser tratados, para que el agua sea apta para el consumo humano.

Los parámetros analizados, están presentes en las muestras tomadas de cada una de las vertientes, y que, al producirse la mezcla en la línea de conducción, se combinan en sus características físicas y químicas.

Como resultado de los análisis microbiológicos, se determina la presencia mínima de bacterias aerógenas, coliformes totales y coliformes fecales, que tienen estrecha relación con el tipo de protección de las fuentes de abastecimiento y demuestran contaminación que debe ser tratada.

De acuerdo a todo lo descrito anteriormente, para reducir la alcalinidad y dureza del agua se considerará dentro del plan de gestión realizar de tratabilidad que permitan cumplir con este objetivo; y, que su aplicación no represente un alto grado de complejidad, mientras que con la desinfección se eliminará las bacterias y coliformes; sin embargo se requiere de un constante monitoreo del recurso y un correcto mantenimiento del sistema de conducción y eficiente proceso de potabilización a fin de garantizar que el recurso no se encuentre en peligro para la salud de la población.

El plan de gestión hídrica los prestadores comunitarios de agua potable cuyas concesiones se encuentran dentro de microcuencas interandinas garantiza el abastecimiento en cantidad y calidad, con niveles tarifarios razonables que permitan la sostenibilidad y continuidad de operación

## Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

del sistema de abastecimiento. A continuación, se propone un modelo general para gestores comunitarios del agua JAAP interandina, (Figura 23).

Del esquema de gestión general planteado, el aspecto Técnico posee una gran relevancia pues es aquí donde se debe asegurar la disponibilidad de agua y la gestión de las operaciones para proveer la sustentabilidad y reposición de aguas en las vertientes, lo que logramos al introducir el análisis de modelos hidrológicos con HydroBID bajo escenarios de cambio climático y demanda de servicio por el incremento de la población.

**Figura 23:** Modelo general para gestores comunitarios del agua



**Fuente:** Elaboración propia

La microcuenca COMID 303458000 en la línea de tiempo corto, mediano y largo plazo demuestra caudales sostenidos y que se incrementan producto de las precipitaciones en las épocas lluviosas dos durante el año. Lo cual asegura disponibilidad de agua para la JAAP Regional Chan.

Al considerar un periodo de vida del sistema de abastecimiento de agua de 20 años a partir del 2019, se requiere implementar a corto plazo, el tratamiento de agua y la necesidad de evitar pérdidas de agua en las captaciones a través de obras civiles correctivas en las paredes de los muros

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

de las captaciones acompañadas de campañas para Buen Uso del agua dentro de los domicilios recomendando enfáticamente en la inspección visual de fugas en interior de cada vivienda.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

### **Ventajas y Limitaciones de HydroBID**

#### **Ventajas**

- HydroBID cuenta con una Base de Datos de Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe (ADH-LAC) (Hydrobidlac, 2016) que contiene la delimitación de las cuencas y cada uno de los segmentos fluviales para América Latina y el Caribe.
- La interfaz del modelo es fácil de usar, posee módulos para análisis de caudales, cambio climático, reservorios y sedimentos.
- Los resultados de la simulación se muestran mediante gráficos de las series de caudales observados y simulados a escala diaria o mensual.

#### **Limitaciones**

- Los valores de número de curva, que es el parámetro usado para caracterizar el tipo de uso de suelo y representa la hidrología en cada una de las microcuencas vienen almacenados en la base datos de Hidrología que utiliza HydroBID. Estos valores se obtuvieron de la Base De Datos Armonizada de Suelos, y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, combinada con mapas digitales de suelos de la FAO UNESCO, que no representan adecuadamente el ecosistema de páramo.
- Otra limitación tiene relación con la naturaleza empírica del modelo puesto que éste calcula la escorrentía por exceso de infiltración, que generalmente se da en suelos que no están saturados siendo una limitante al no representar las condiciones del páramo. Es decir, el cálculo de flujo superficial no se realiza por exceso de saturación, y no se toma en cuenta el efecto de la intercepción de vegetación presente en las cuencas, el posible almacenamiento superficial, evapotranspiración, entre otros.
- La parametrización de la simulación de escenarios es manual y empírica, lo cual puede llegar a mal interpretaciones de los resultados obtenidos.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

### **CONCLUSIONES**

La aplicación de HydroBID para modelos hidrológicos en una microcuenca interandina permite implementar medidas de adaptación al cambio climático, y poder adoptar medio de vida resilientes.

El incremento poblacional resulta ser más influyente en la disponibilidad de agua que poseen las vertientes por tal razón el uso que se le dé es esencial para la sostener el sistema de abastecimiento.

La microcuenca tiene comportamiento bimodal, dando lugar a que las cantidades de agua decrezcan en la época de seca.

La construcción de una planta de tratamiento para agua potable, y, correcciones en las captaciones para evitar pérdidas de agua son parte fundamental de la infraestructura para suministrar agua potable que cumpla los parámetros de acuerdo a la noma INEN 1108.

El esquema de plan de gestión de recurso hídrico formulado deberá ser actualizado cada año y su seguimiento y control de actividades debe ser de íntima relación entre el prestador comunitario y la población servida, además podrá ser modificado de acuerdo a las necesidades percibidas durante el tiempo de vida del sistema de abastecimiento de agua para consumo.

### **RECOMENDACIONES:**

Las JAAP como gestores comunitarios del agua requieren del continuo asesoramiento técnico y financiero, pues sin una tarifa adecuada, hace que estas tengan dificultades para la continuidad de prestación del servicio.

La herramienta HydroBID genera resultados aceptables en la simulación de flujos de salida de la micrcuencas de estudio. Sin embargo, se debe considerar que una buena simulación depende mayoritariamente de la parametrización, es decir si existe alta incertidumbre en los datos de entrada

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

a un modelo su aplicación se ve limitada ya que puede tender a reproducir esa incertidumbre. Este problema es general a todos los modelos hidrológicos, por lo que es importante mejorar la calidad de los datos que se utilizan para modelar las cuencas.

Actualizar y monitorear las estaciones meteorológicas para que se garantice su buen funcionamiento y la obtención de información continua y confiable para uso en las futuras investigaciones, dando énfasis a la medición de caudales en los ramales pluviales.

Según el artículo 318 de la Constitución en donde se reconoce como una forma de gestión del agua la comunitaria, también establece que debe ser apoyada y fortalecida por organismos del Estado a través de alianzas, es decir, las JAAP's requieren de asesoramiento de los GAD's y entidades estratégicas para una eficiente gestión del recurso hídrico, será la Directiva quien formalice dichas alianzas.

# Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.

## BIBLIOGRAFÍA

- BBC Mundo. (23 de Diciembre de 2015). *¿Cómo se secó el Poopó, el segundo lago mas grande de Bolivia?* Obtenido de BBC Mundo:  
[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151223\\_ciencia\\_bolivia\\_lago\\_poopo\\_desaparicion\\_sequia\\_wbm#orb-banner](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151223_ciencia_bolivia_lago_poopo_desaparicion_sequia_wbm#orb-banner)
- BID. (2017). *¿Por qué es importante Hydro-BID?* Obtenido de BID:: <https://www.iadb.org/es>
- BID. (2018). *Iniciativa Hydrobid. Banco Interamericano de Desarrollo.* Obtenido de Recuperado el 15 de febrero de 2019: <https://www.iadb.org/es/agua-y-saneamiento/about-hydro-bid>
- Concejo Nacional de Competencias (CNC). (2019). *Informe de la competencia de gestión de agua.* Quito: Comunicación Social CNC, 1ra Edición.
- Gracia, J. (1999). Interpolación espacial de datos meteorológicos mediante técnicas de cokriging. Aplicación a las precipitaciones de Castilla – La Mancha. *I Congreso de la Asociación Española de Climatología.* Congreso llevado a cabo en Barcelona, España.
- Hong, W., Adler, R., Hossain, F., Curtis, S., & Huffman, G. (2007). *A first approach to global runoff simulation using satellite rainfall estimation.* *Water Resources Research*, 43 (8).
- Hydrobidlac. (3 de MARzo de 2016). *Base de Datos de Hidrología Analítica para America Latna y el Caribe.* Obtenido de <http://sp.hydrobidlac.org/events/?id=111>:  
<http://sp.hydrobidlac.org/events/?id=111>
- Kwak, J., St-Hilaire, A., Fateh, C., & Gilho, K. (2017). *Summer Season Water Temperature Modeling under the Climate Change: Case Study for Fourchue River.* Quebec, Canada.  
Water.9.346.10.3390/w9050346.
- LATACUNGA GAD. (2018). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON LATACUNGA.* Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

## **Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

- Magrin, G. (2014). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Matear, R., & Lenton, A. (2017). *Sensitivity of Future Ocean Acidification to Carbon Climate Feedbacks*. Biogeosciences Discussions. 1-18. 10.5194/bg-2017-225.
- Modificado de Haith, D., Mandel, R., & Wu, R. (1996). Generalized watershed loading functions. *Versión 2.0 user's manual [Manual Técnico]*. New York, Estados Unidos. 62p.
- Moreda, F., Miralles, F., & Muñoz, R. (2014). *Hydro-BID: Un Sistema Integrado para la Simulación de Impactos del Cambio Climático sobre los Recursos Hídricos*.
- Morell, I., & Hernandez, F. (2001). *El Agua en Castellón*. España: Editorial de la Universidad Jaume.
- Moss, R., & Babiker, M. (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Technical Summary*. Geneva, 25 pp: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- NORMALIZACIÓN, I. E. (Enero de 2014). Norma Técnica Ecuatoriana. *NTE INEN 1108 Agua Potable, Requisitos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (Julio de 2017). *Agua, saneamiento e higiene*. Obtenido de 25 de junio de 2018: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/es/)
- Paz, J., Kelman, R., Navas, S., Okamura, L., & Feliu, E. (2019). *Vulnerabilidad al Cambio Climático y Medidas de Adaptación de los Sistemas Hidroeléctricos en los Países Andinos*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Rineer, J., Bruhn, M., Miralles, F., & Muñoz, R. (2014). *Hydrobid: Base de Datos Hidrología Analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1; NOTA TÉCNICA IDB-TN-528*.
- SENPLADES. (21 de Marzo de 2013). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de 17 de abril de 2018: <http://www.planificacion.gob.ec/>
- UNESCO. (2016). *Abordar la escasez y la calidad del agua*. Obtenido de 12 de Octubre de 2020: <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>

**Plan de gestión de recurso hídrico para una microcuenca interandina usando el modelo hidrológico Hydro-BID.**

Vuille, M., Bradley, R., & Keiming, F. (2000). Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of Climate*, 13(14),2520-2535.