



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
PROGRAMA INTEGRAL BIOLÓGICO TURÍSTICO-JARDÍN BOTÁNICO

DINA

DIVISIÓN DE DESARROLLO  
INTEGRAL DEL NORTE  
AMAZÓNICO



CUADERNILLO TÉCNICO N° 23

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DE  
LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS  
CUENCAS DEL RÍO MAMUQUE,  
EBUTUDHU Y TUMUPASA Y DE LA  
DINÁMICA DE LA LAGUNA MOA**



**PILARES ESTRATÉGICOS PIBT - JB:**

Conservación,  
Biodiversidad y Medio  
Ambiente

Seguridad  
Alimentaria

Salud  
Integral

Socio  
Cultural

Eco  
Urbanismo

Turismo Ecológico  
y Científico

Implementación  
Físico Espacial

Gestión Agroforestal e  
Innovación Tecnológica



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS – PROGRAMA INTEGRAL  
BIOLÓGICO TURÍSTICO JARDÍN BOTÁNICO PIBT-JB

Dirección: La Paz: Av. Arce N° 204, Piso 2, Oficina 9D

Tel: 591 (2) 261 2284 - Fax: 591 (2) 212 6023

Correo: [dina.umsa@gmail.com](mailto:dina.umsa@gmail.com)

Tumupasa: Planta Baja Edificio de la Sub Alcaldía, Plaza Principal  
San Buenaventura: Centro Universitario Regional Radio UMSA 99.1 FM



Dr. Teodoro Alanoca Rojas  
**RECTOR a.i.**

Dr. Javier Tapia Gutierrez  
**VICERRECTOR a.i.**

Ing. Víctor Hugo Herrera Cusicanqui  
**SECRETARIO GENERAL a.i.**

## **DIVISIÓN DE DESARROLLO INTEGRAL DEL NORTE AMAZÓNICO (DINA)**

**SEGUNDA FASE 2015-2020.** Estudios e Investigaciones del Pilar Conservación, Biodiversidad y Medio Ambiente.

### **DIRECTOR DEL INSTITUTO DE DESARROLLO REGIONAL**

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

### **JEFE DINA COORDINADOR PIBT-JB**

M.Sc. Carlos Rolando Enríquez Rojas

### **MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO DEL PIBT-JB.**

Ph.D. Andrés Callizaya Terceros – INSTITUTO DE HIDRAULICA E HIDROLOGÍA, FAC. INGENIERÍA

Lic. José Hidalgo Quezada, CARRERA DE TURISMO, FAC. DE HUMANIDADES.

Lic. Esther Valenzuela Celis – CARRERA DE BIOLOGÍA, FAC. CS. PURAS Y NATURALES.

### **INVESTIGADORES / AUTORES:**

Ph.D. Andrés Callizaya Terceros – Coordinador, Instituto de Hidráulica e Hidrología – Fac. Ingeniería.

Jovanna Mendoza Gutiérrez – Tesista Fac. Ingeniería.

Shirley Excel Butrón – Tesista Fac. Ingeniería.

Iván Mario Copa Mamani – Tesista Fac. Ingeniería.

Lic. Magaly Mendoza Apaza – Apoyo Técnico DINA / PIBT-JB

### **APOYO LOGÍSTICO**

Lic. Margot Bravo Guari – Apoyo logístico DINA / PIBT-JB Tumupasa

Lionel Irguen Cartagena – Apoyo logístico DINA / PIBT-JB Tumupasa

Witman Dario Chuqui Oliver – Apoyo logístico DINA / PIBT-JB Tumupasa

### **PROPIEDAD INTELECTUAL:**

UMSA Programa Integral Biológico Turístico – Jardín Botánico.

### **INSTITUCIONES COADYUVANTES:**

Consejo Indígena del Pueblo Tacana CIPTA, Gobierno Autónomo Municipal de San Buenaventura, Sub Alcaldía de Tumupasa.

### **EDICIÓN: UMSA – DINA/PIBT JB. La Paz, Julio de 2020.**

El presente cuadernillo técnico resume el estudio original de 168 páginas.

## **CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. ÁREA DE ESTUDIO	2
3.1 Población	3
4. METODOLOGÍA	4
4.1. Instalación de estaciones meteorológicas	5
4.2. Aforos	6
4.3. Batimetría y sobrevuelo de la Laguna Moa	7
4.4. Modelos hidrológicos WEAP (SEI/USA) y SWAT (USDA)	8
5. RESULTADOS ALCANZADOS	9
5.1. Información generada por las estaciones meteorológicas Tumupasa y San Buenaventura	9
5.2. Base de datos de caudales aforados	11
5.3. Modelación hidrológica - caudales simulados	14
5.4 Curva Elevación – Volumen de la Laguna Moa	19
5.5 EVALUACIÓN EN ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO	22
6. IMPACTOS DEL PROYECTO	25
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
8. BIBLIOGRAFÍA	27

## CUADERNILLO TECNICO N° 23

### EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS DEL RÍO MAMUQUE, EBUTUDHU Y TUMUPASA Y DE LA DINÁMICA DE LA LAGUNA MOA

#### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es vida y conocer la disponibilidad de este recurso en posibles escenarios de cambio climático, es fundamental para garantizar el desarrollo sustentable de las poblaciones rurales vulnerables y alejadas de los centros urbanos. Por ende, es una prioridad la evaluación de los recursos hídricos (a nivel espacial y temporal) y la determinación de la oferta hídrica de las cuencas del norte de La Paz, con énfasis en las subcuencas en torno al Jardín Botánico de Área Natural Serranía Mamuque y lagunas Moa, así también en torno a la TCO Tacana I.

Estos estudios, se constituyen en la base fundamental para realizar una Estrategia de Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), para propiciar una cultura de resiliencia frente al cambio climático y desarrollar proyectos relacionados al aprovechamiento de los recursos hídricos, no solo para fines científicos, sino también para un aprovechamiento sostenible con miras al futuro de la población creciente del área y en particular de la población de Tumupasa.

La evaluación de la disponibilidad de agua se complementa con los objetivos y metas que se ha trazado la DINA en la región y permitirá conocer las características hídricas incluyendo la cuenca de la Laguna Moa (que tiende a secarse en estiaje), permitirá proteger dichas áreas tan sensibles a la intervención humana y a la afectación por el cambio climático; permitirá planificar futuros aprovechamientos para atender las crecientes demandas y también diversificar sus actividades productivas promoviendo el turismo, las visitas y paseos en bote en la Laguna Moa, la apicultura, la implementación del Centro Integral Productivo en Agroforestería Sustentable (CIPAS), el turismo gastronómico, y otras actividades y/o emprendimientos productivos que sean llevados a cabo por los beneficiarios y que estén relacionados a los recursos hídricos.

Por otro lado, con fines más didácticos y de interacción con los beneficiarios, se ha promovido la amplia participación de los beneficiarios, a través de sus organizaciones de base,

para apoyar las misiones de campo y la recolección de información cuyos resultados son presentados en sus asambleas o reuniones para conocimiento pleno, no solo de los resultados, sino también de los procesos para alcanzarlos. En esta fase, ha sido vital el involucramiento de los actores y de autoridades de la población de Tumupasa en la protección y el cuidado de los equipos meteorológicos instalados en San Buenaventura y Tumupasa y en la recopilación de dicha información.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la oferta de los recursos hídricos de las cuencas y subcuencas de la Tierra Comunitaria de Origen Tacana I y de la cuenca de la Laguna Moa, para generar las bases para un aprovechamiento racional y una adecuada Gestión de los Recursos Hídricos, contribuyendo al desarrollo de la región y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes y comunidades representadas por el Consejo Indígena del Pueblo Tacana (CIPTA), en el Norte Paceño de manera preliminar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

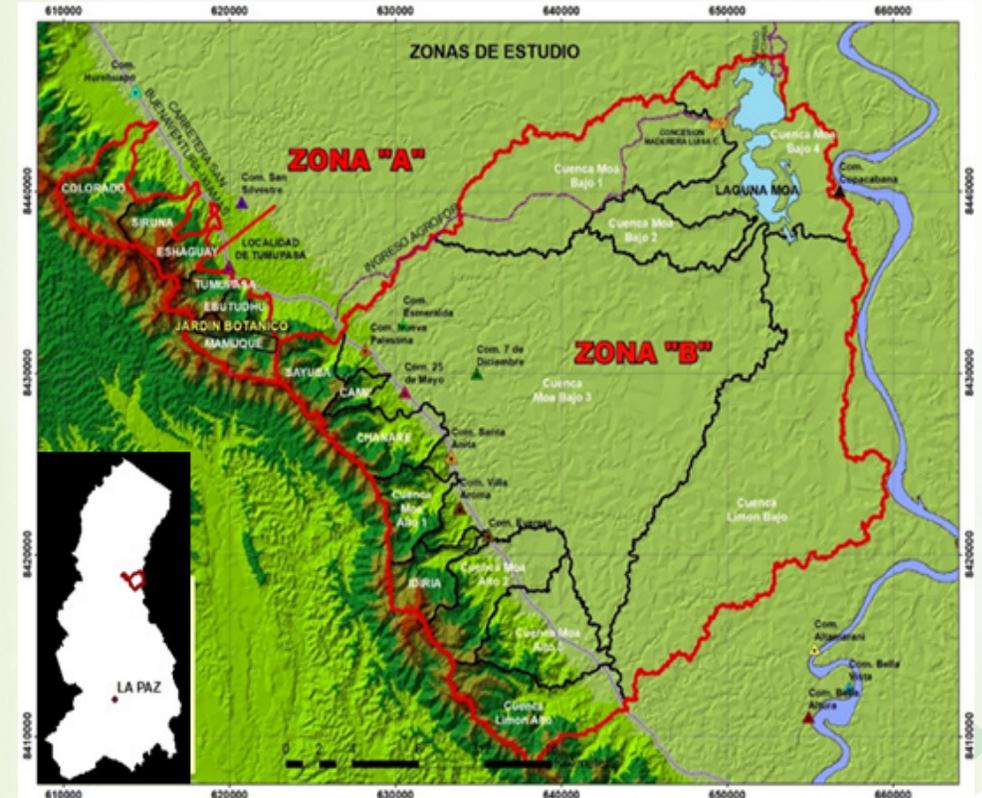
- Equipar con estaciones meteorológicas para la creación de una base propia de datos climatológicos y de aforos de caudales de los ríos de interés
- Realizar el Balance Hídrico Superficial de las cuencas y subcuencas de interés
- Conocer la dinámica de la Laguna Moa, de manera preliminar
- Capacitar a la población beneficiaria sobre la importancia de la protección de las fuentes hídricas.

## 3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la Segunda Sección de la Provincia Abel Iturralde, en el municipio de San Buenaventura. Geográficamente se encuentra localizado a los  $67^{\circ}44'45''$  y  $67^{\circ}55'48''$ , de Longitud Oeste y de  $14^{\circ}16'17''$  y  $14^{\circ}04'07''$  Latitud Sur.

La Zona denominada "A" de 60.87 km<sup>2</sup> comprende las cuencas Colorado, Siruna, Eshaguay, Ebutudhu, Tumupasa y Mamuque que se caracterizan por un relieve montañoso; la Zona denominada "B" o cuenca de la Laguna Moa tiene una superficie de 706.14 km<sup>2</sup> y en ella se distinguen dos zonas, una montañosa que son las subcuencas Sayuba, Came, Chanare, Idiria, Moa Alto 1, 2 y 3 y Limón Alto, seguidamente de una zona plana o llanura que se conforma de las subcuencas Moa Bajo 1, 2, 3 y 4 y Limón Bajo. (Fig.1)

Fig. 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio



### 3.1 POBLACIÓN

La población del área, de acuerdo a nuestra encuesta realizada, asciende a los 2912 habitantes en su mayoría de origen Tacana, distribuidos en 13 comunidades entorno a la población más importante de Tumupasa con 1827 habitantes y la más pequeña de Nueva Jerusalén con 22 habitantes y se estableció que la demanda de agua para el consumo humano de agua no supera los 1500 l/s. (Tabla 1).

**Tabla 1.** Poblaciones en la zona de estudio

ZONA DE ESTUDIO	COMUNIDAD	POBLACION (Hab.)	CONSUMO (l/hab-día)
ZONA "A" CUENCAS ENTORNO AL JARDIN BOTANICO	Rio Colorado	27	59,00
	Tumupasa	1827	148,07
	San Silvestre	127	106,30
ZONA "B" CUENCA DE LA LAGUNA MOA	La Esmeralda	242	103,21
	Santa Ana	198	100,00
	7 De Diciembre	120	106,30
	Everest	86	102,94
	25 De Mayo	82	107,79
	Esmeralda I	71	59,00
	El Dorado	44	57,10
	Nueva Palestina	27	60,00
	Nueva Jerusalén	22	65,00
	Villa Aroma	39	59,00
	TOTAL	2912	

#### 4. METODOLOGÍA

Esta fase del proyecto ha sido desarrollada en un intenso trabajo de campo, realizando misiones de mediciones (aforos) de los caudales de los ríos, la instalación y recolección de datos de los equipos meteorológicos, el reconocimiento y recorrido de las subcuencas. También se realizaron ingresos, aunque muy dificultosos vía terrestre, aérea y fluvial, hacia la Laguna Moa, para conocer y determinar el área de inundación máxima y mínima del espejo de agua, la recolección de datos de la estación de Rurrenabaque operada por AASANA Aeropuerto, y de la recopilación y procesamiento de la información del SISMET/ SENAMHI. Con toda la información disponible, se adoptaron modelos hidrológicos basados en SIG, como herramienta fundamental de gestión sostenible de las cuencas, la generación de base de datos y para la simulación de la respuesta hidrológica de las cuencas y subcuencas considerando escenarios de cambio climático. La cuenca o subcuenca hidrográfica, sea en forma independiente o interconectada con otras, es la unidad territorial de estudio aceptada para la gestión integrada de los recursos hídricos (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

#### 4.1. INSTALACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

En noviembre de la gestión 2018 se procedió a la instalación de las estaciones meteorológicas Davis HOBO Vantage Pro2 en San Buenaventura (Foto 1) y Tumupasa (Foto 2) ubicadas en las coordenadas y elevación que se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Coordenadas de las estaciones meteorológicas Davis HOBO Vantage Pro2

ESTACION	ELEVACION	ESTE	NORTE	LAT SUD	LOG OESTE
San Buenaventura	211	657480	8403680	14°25'44"	67°32'20"
Tumupasa	473	619868	8435601	14°08'33"	67°53'21"

**Foto 1.** Estación meteorológica de SBV



**Foto 2.** Estación meteorológica de Tumupasa



**Foto 3.** Entrega de la estación en Tumupasa



Los equipos fueron instalados con la ayuda de los pobladores como parte del proceso de entrenamiento para la operación y descarga de la información, así como la interpretación de la misma. La puesta en marcha de las estaciones fue realizada en presencia de las máximas autoridades de la UMSA y de la Subalcaldía de Tumupasa, CIPTA y población en general (Foto 3).

Como parte del proyecto, se elaboró un manual que fue distribuido en los talleres de capacitación informativa al personal técnico de DINA-Tumupasa y San Buenaventura para el manejo y cuidado correcto de las estaciones, a fin de dar seguimiento al monitoreo de datos meteorológicos de la región.

### 4.2. AFOROS

La información hidrométrica o registro de caudales de los ríos es de suma importancia para la evaluación de los recursos hídricos y al no existir registros de caudales de los ríos de interés, se procedió al aforo de los mismos con Molinete adquirido por el proyecto y con el apoyo del personal técnico entrenado de DINA-Tumupasa. Los aforos fueron realizados solo a nivel mensual y como puntos de control se estableció la carretera que une San Buenaventura con Ixiamas, que prácticamente separa la zona montañosa de la planicie o llanura de las cuencas.

**Foto 4.** Aforos de (a) Rio Moa (b) Rio Chanare (c) Rio Came



Fuente: Archivos del viaje 2018-2019

**Foto 5.** Aforos de (a) Rio Sayuba, (b) Rio Mamuque (c) Rio Tumupasa



Fuente: Archivos del viaje 2018-2019

**Foto 6.** Aforos de (a) Rio Ebutudhu (b) Rio Eshaguay (c) Rio Siruna (d) Rio Colorado

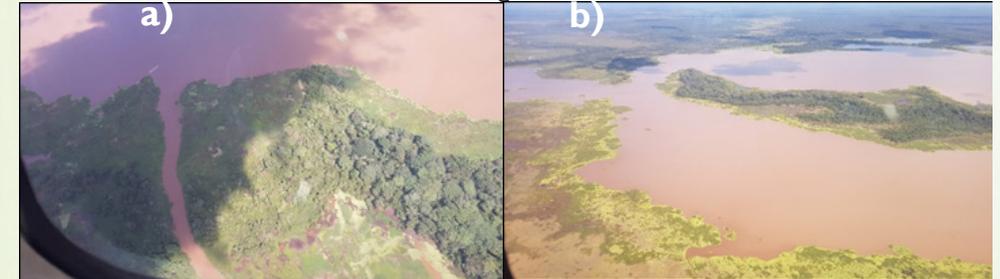


Fuente: Archivos del viaje 2018-2019

### 4.3. BATIMETRÍA Y SOBREVUELO DE LA LAGUNA MOA

La Laguna Moa es poco profunda, <1.8 m y de 16.5 km<sup>2</sup> máxima de superficie; formada hace miles de años, resultado de los meandros que el río Beni dejaba a su paso. En mayo del 2019 se realizó una prospección aérea en avioneta sobre la Laguna Moa, con el fin de evaluar la configuración de la misma en condiciones máximas de inundación y que, según los pobladores de la zona, supuestamente se había interconectado con el río Beni. Con muchas dificultades y de manera conjunta con el SENAMHI se realizó la batimetría preliminar de la Laguna Moa (topografía), determinando las profundidades de la laguna, el volumen de almacenamiento actual y, por ende, establecer la curva Elevación –Volumen de la misma que debe ser nuevamente verificada y que será de suma importancia para llevar a cabo el estudio de la dinámica de la laguna.

**Foto 7.** (a) Ingreso a Laguna Moa por el Arroyo Limón (b) Zona pantanosa de la Laguna Moa



Fuente: Archivos sobrevuelo Laguna Moa – mayo 2019

**Foto 8.** Vista aérea del cuerpo principal de la Laguna Moa



Fuente: Archivos sobrevuelo Laguna Moa – mayo 2019

**Foto 9.** Vista de la Laguna Moa en estiaje y al fondo el espejo del agua inalcanzable



Fuente: Archivos del viaje – octubre 2019

**Foto 10.** (a) y (b) Entrada y salida de la Laguna Moa (c) Matorrales antes de ingresar a la Laguna Moa



Fuente: Archivos del viaje – octubre 2019

#### 4.4. MODELOS HIDROLÓGICOS WEAP (SEI/USA) Y SWAT (USDA)

La evaluación de los recursos hídricos, que se realiza a nivel de cuencas o subcuencas hidrográficas, requiere de herramientas que sirvan de apoyo para la toma de decisiones y que garanticen y satisfagan las distintas demandas que se presenten y por lo tanto, para la generación de dichos modelos de respuesta hidrológica de las cuencas, se han utilizado los modelos WEAP y ArcSWAT, cada uno con sus potencialidades, que ha permitido comparar los resultados obtenidos de ambos modelos y que una vez construidos pueden ser utilizados

en la planeación futura del desarrollo de los recursos hídricos y profundizar el análisis de diferentes impactos sobre los recursos hídricos.

El programa WEAP (Water Evaluation And Planning), que tiene gran aceptación en diferentes países alrededor del mundo, apoyando estudios que integran la demanda, oferta y calidad del agua, considera no solo condiciones hidroclimatológicas de la cuenca, sino también las características del suelo de la cuenca (Yates, D., et al, 2005). WEAP define nodos de influencia denominados “catchments”. Estos representan un área geográfica en la cual las propiedades del suelo son específicas para la zona o microcuenca como también los datos meteorológicos que se asumen uniformes sobre el área que delimita el catchment.

Otra herramienta es el SWAT (Soil & Water Assessment Tool), hoy en día ArcSWAT, programa que es una extensión de ArcGIS el cual fue desarrollado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la generación del escurrimiento, el transporte de los sedimentos y los rendimientos químicos de los cultivos. ArcSWAT cuenta con un motor de clima propio el cual puede cubrir la falta de datos. Este motor de clima esta generado mediante unas ecuaciones empíricas las cuales generan los datos faltantes a partir de la base de datos interna del programa. También trabaja con base de datos de tipos de suelo y cobertura los cuales son modificados acorde a la información de la FAO y del tipo de cobertura existente. La información de cobertura de suelo y tipo de suelo ayuda a realizar la elaboración de las unidades de respuesta hidrológica que nos ayudan a realizar un mejor cálculo del escurrimiento de la cuenca.

El base al modelo construido en WEAP, en una segunda fase, se podrá desarrollar una estrategia para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) muy requerida por los beneficiarios que también, confirme la alta sensibilidad de la región a la intervención humana.

### 5. RESULTADOS ALCANZADOS

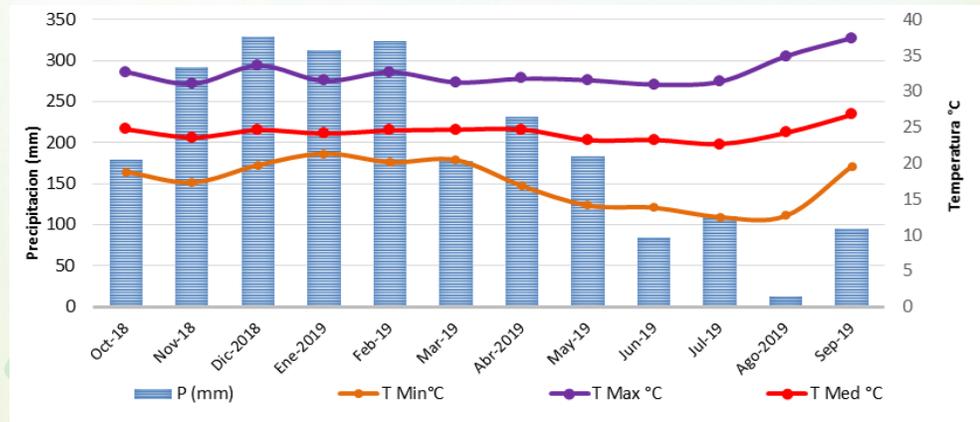
#### 5.1. INFORMACIÓN GENERADA POR LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS TUMUPASA Y SAN BUENAVENTURA

Aún es corto el periodo de la base de datos generada, pero con el transcurrir del tiempo se tendrá mayor información. A continuación, se presenta los datos del año hidrológico Oct2018 a Sep2019 de Precipitación y Temperatura de las dos nuevas estaciones meteorológicas (Tabla 2 y 3) y se las representa mediante climogramas en las Gráficas 1 y 2.

**Tabla 3.** Datos recolectados de Precipitación y Temperatura Estación TUMUPASA

AÑO	2018			2019								
MES	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
P (mm)	178.5	291.4	328.5	313	324.3	178.4	231.6	183.2	84.1	109.8	13.2	94.9
Tmin °C	18.8	17.3	19.7	21.3	20.1	20.4	16.8	14.1	13.8	12.5	12.7	19.6
Tmax °C	32.7	31.1	33.6	31.5	32.7	31.3	31.8	31.6	31	31.4	34.9	37.4
Tm °C	24.7	23.6	24.6	24.1	24.6	24.7	24.7	23.2	23.2	22.7	24.3	26.8

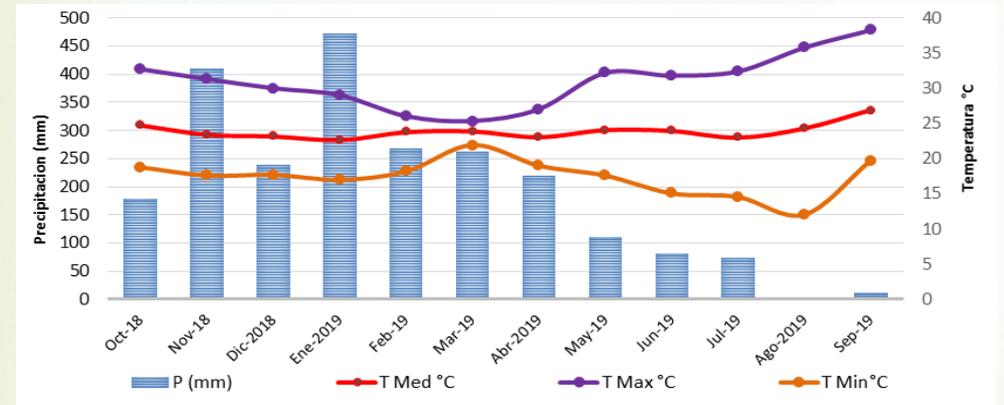
**Grafica 1.** Datos meteorológicos de Tumupasa 2018 - 2019



**Tabla 4.** Datos recolectados de Precipitación y Temperatura - Estación SBV

AÑO	2018			2019								
MES	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
P (mm)	178.5	410.8	239.7	471.6	267.3	261.5	219.4	110.9	81.4	74.8	0.3	11.1
Tmin °C	18,8	17,6	17,7	17,0	18,2	21,9	19,0	17,6	15,1	14,6	12,1	19,7
Tmax °C	32,7	31,3	30,0	29,0	26,0	25,3	27,0	32,2	31,8	32,4	35,8	38,3
Tmed °C	24,7	23,5	23,2	22,7	23,8	23,9	23,1	24,1	24,0	23,0	24,3	26,9

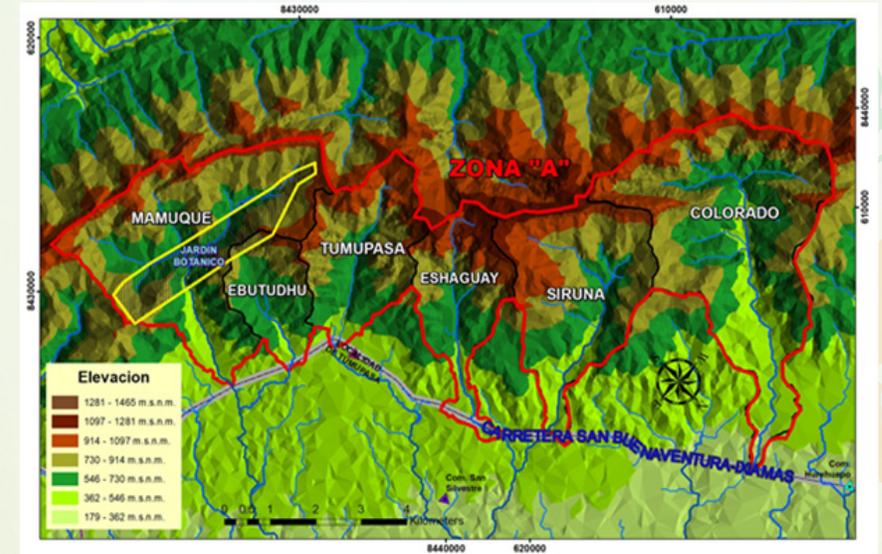
**Grafica 2.** Climograma San Buenaventura 2018 - 2019



**5.2. BASE DE DATOS DE CAUDALES AFORADOS**

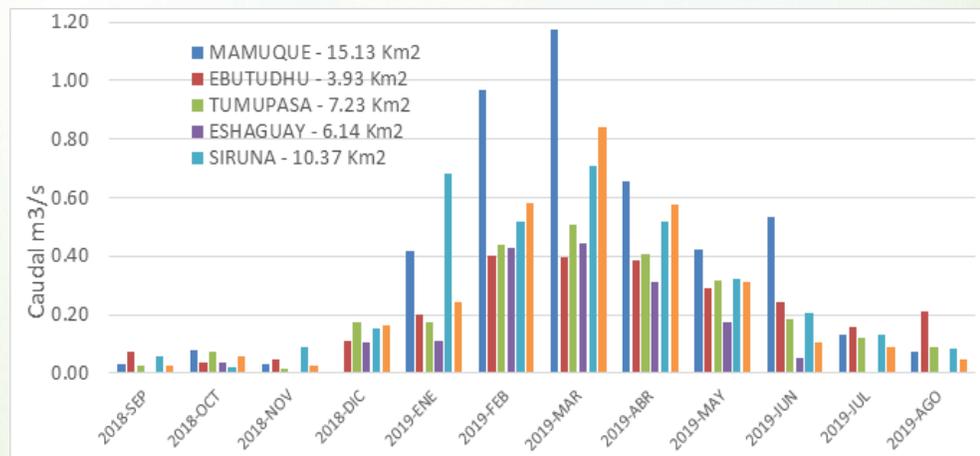
La campaña de aforos se inició en Septiembre de 2018 en 10 ríos de interés, de los cuales 6 entorno a la población de Tumupasa y al Jardín Botánico de la Zona denominada “A”, (Fig. 2) y los otros 4 ríos de la parte alta (fin de la serranía) de la cuenca de la Laguna Moa, Moa Alto, Chanare, Came y Sayuba (Fig. 3).

**Fig. 2.** Ubicación geográfica de las 6 subcuencas de la Zona “A” y del Jardín Botánico



El escurrimiento superficial en las cuencas alcanza valores máximos en marzo y mínimos en noviembre, mientras que algunos se secan completamente tanto en la Zona “A” (Grafica 3 y Tabla 4) como en la zona “B” (Grafica 4 y Tabla 5). En la base de datos disponibles, se observa la variación temporal del escurrimiento en función a su propia área de aporte o cuenca cuya variación es notable entre ellas.

**Grafica 3.** Caudales medidos en las 6 Subcuencas de la Zona “A”



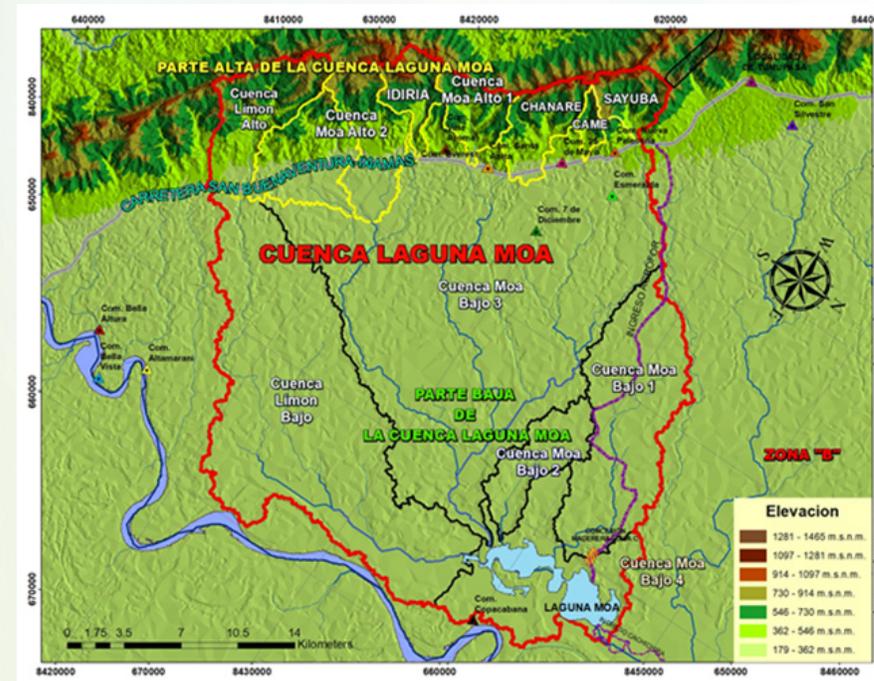
**Tabla 5.** Caudales medidos en las 6 Subcuencas de la Zona “A”

SUB CUENCA	AREA (km²)	CAUDALES AFORADOS (m³/s)											
		2018				2019							
		SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
MAMUQUE	15.13	0.03	0.08	0.03	0	0.42	0.97	1.17	0.66	0.42	0.53	0.13	0.07
EBUTUDHU	3.93	0.08	0.03	0.05	0.11	0.2	0.4	0.39	0.39	0.29	0.24	0.16	0.21
TUMUPASA	7.23	0.03	0.07	0.02	0.17	0.18	0.44	0.51	0.41	0.31	0.19	0.12	0.09
ESHAGUAY	6.14	0	0.04	0	0.11	0.11	0.43	0.44	0.31	0.18	0.05	0	0
SIURUNA	10.37	0.06	0.02	0.09	0.15	0.68	0.52	0.71	0.52	0.32	0.2	0.13	0.08
COLORADO	18.07	0.03	0.06	0.03	0.16	0.24	0.58	0.84	0.58	0.31	0.1	0.09	0.05

De la Gráfica 3 y Tabla 5, se puede observar que, si bien los aforos fueron realizados el mismo día, la respuesta hidrológica en el caso de la cuenca del río Mamuque es superior al río Colorado no obstante tener una superficie inferior. Al respecto se puede mencionar que la cuenca del río Colorado está más intervenida por el hombre en la parte de la serranía que

podría ser la respuesta a dicha diferencia. En la mayor parte de las cuencas de la serranía se han observado vertientes y en las partes bajas flujos subsuperficiales. El Jardín Botánico prácticamente se encuentra distribuida en un 95% en la cuenca del río Mamuque, que, no obstante, el conservado estado en el que se encuentra, el aforo en diciembre pasado fue nulo, pero con un flujo subsuperficial difícil de cuantificar.

**Fig. 3.** Detalle de la cuenca de la Laguna Moa y de las partes Alta y Baja (Zona “B”)

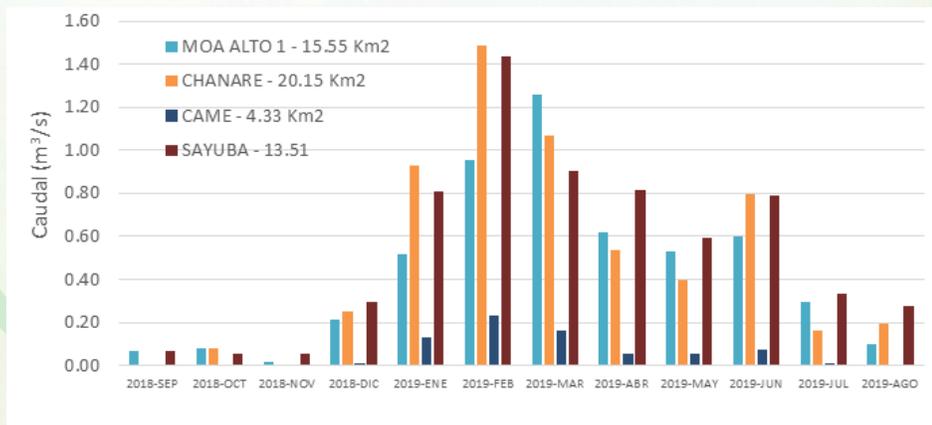


De acuerdo a los aforos realizados (Tabla 6), existe una semejanza de los aportes en función al área de las cuencas similar a los caudales de la Zona “A”. De igual manera, en las cuencas de Chanare y Came se ha podido observar que existen flujos subsuperficiales en dirección de la Laguna Moa, es decir que, si bien el lecho se encuentra seco, existe un aporte subterráneo que desciende hacia la Laguna Moa y que aflora aguas abajo debido a las características del terreno gravo-arenoso en la zona de transición de la serranía y la llanura.

**Tabla 6.** Caudales aforados de la parte montañosa de la cuenca de la Laguna Moa

Sub Cuenca	AREA km <sup>2</sup>	CAUDALES AFORADOS (m <sup>3</sup> /s)											
		2018				2019							
		SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Mamuque	15.13	0.03	0.08	0.03	0	0.42	0.97	1.17	0.66	0.42	0.53	0.13	0.07
Ebutudhu	3.93	0.08	0.03	0.05	0.11	0.2	0.4	0.39	0.39	0.29	0.24	0.16	0.21
Tumupasa	7.23	0.03	0.07	0.02	0.17	0.18	0.44	0.51	0.41	0.31	0.19	0.12	0.09
Eshaguay	6.14	0	0.04	0	0.11	0.11	0.43	0.44	0.31	0.18	0.05	0	0
Siuruna	10.37	0.06	0.02	0.09	0.15	0.68	0.52	0.71	0.52	0.32	0.2	0.13	0.08
Colorado	18.07	0.03	0.06	0.03	0.16	0.24	0.58	0.84	0.58	0.31	0.1	0.09	0.05

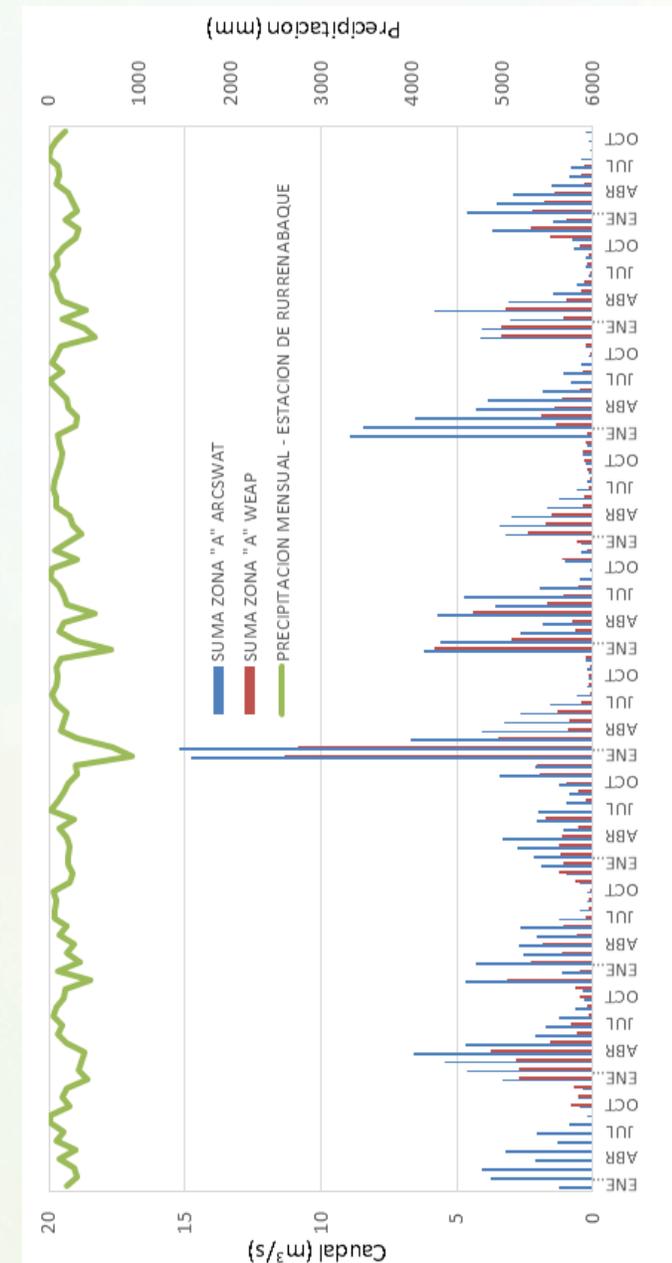
**Grafica 4.** Caudales aforados de la parte montañosa de la cuenca de la Laguna Moa



**5.3. MODELACIÓN HIDROLÓGICA - CAUDALES SIMULADOS**

Los caudales obtenidos producto de la aplicación de los modelos, en una comparación de resultados para las zonas de estudio “A” (Grafica 5) y “B” Cuenca Laguna Moa (Grafica 6), se puede observar que los valores de ArcSWAT son más elevados que los resultados del WEAP, esto debido a que los datos faltantes en el modelamiento de ArcSWAT fueron reemplazados por su motor climático los cuales son valores empíricos, a comparación de WEAP que con la función ciclo rellena los datos faltantes. No obstante, el comportamiento y la secuencia son semejantes en ambos modelos, producto de la respuesta a la precipitación.

**Grafica 5.** Resultados de ArcSWAT y WEAP – Caudales totales Zona “A” (2010-2019)



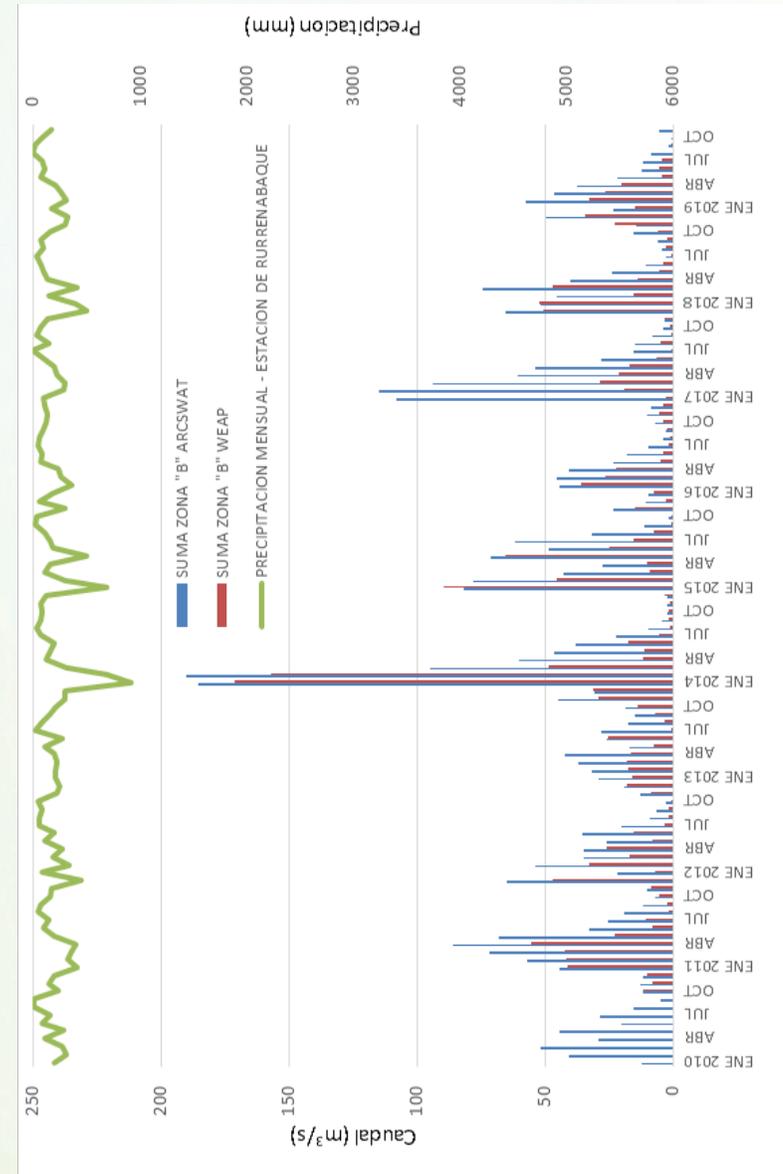
**Tabla 7.** Caudales simulados por cuencas en ArcSWAT y WEAP (2010-2019) Zona “A”, en m³/s

MES	CUENCA											
	MAMUQUE		EBUTUDHU		TUMUPASA		ESHAHUAY		SIRUNA		COLORADO	
	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP
ENE	0.98	0.59	0.25	0.14	0.48	0.28	0.39	0.25	0.68	0.4	1.18	0.67
FEB	1.39	0.74	0.35	0.18	0.67	0.35	0.56	0.31	0.9	0.45	1.66	0.85
MAR	1.04	0.46	0.27	0.11	0.49	0.22	0.42	0.19	0.66	0.28	1.24	0.52
ABR	0.84	0.34	0.22	0.08	0.4	0.16	0.34	0.14	0.58	0.24	1	0.39
MAY	0.82	0.32	0.21	0.08	0.38	0.15	0.33	0.13	0.59	0.24	0.97	0.37
JUN	0.53	0.21	0.14	0.05	0.25	0.1	0.21	0.09	0.39	0.16	0.63	0.24
JUL	0.42	0.08	0.11	0.02	0.19	0.04	0.17	0.03	0.31	0.06	0.5	0.1
AGO	0.2	0.04	0.05	0.01	0.09	0.02	0.08	0.02	0.16	0.03	0.24	0.05
SEPT	0.08	0.03	0.02	0	0.04	0.01	0.03	0.01	0.06	0.02	0.1	0.04
OCT	0.08	0.08	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.1	0.09
NOV	0.17	0.15	0.04	0.03	0.09	0.07	0.06	0.06	0.11	0.09	0.21	0.17
DIC	0.38	0.33	0.09	0.08	0.18	0.16	0.15	0.14	0.26	0.21	0.45	0.37

**Tabla 8.** Caudales simulados por subcuencas 2010-2019 – Cuenca Laguna Moa parte montañosa, en m³/s

MES	SUB CUENCA															
	IRIDIA		MOA ALTA 1		CHANARE		CAME		SAYUBA		MOA ALTA 2		MOA ALTA 3		LIMON ALTO	
	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP	SWAT	WEAP
E	1	0.73	1.1	0.73	1.37	1.05	0.29	0.22	0.94	0.64	2	1.61	2.26	1.71	2.23	1.7
F	1.28	0.73	1.4	0.75	1.77	1.06	0.37	0.22	1.2	0.65	2.56	1.57	2.85	1.69	3.15	2.05
M	1.03	0.49	1.11	0.5	1.42	0.7	0.3	0.15	0.95	0.43	2.13	1.04	2.36	1.12	2.38	1.27
A	0.81	0.37	0.87	0.381	1.1	0.536	0.23	0.116	0.74	0.331	1.69	0.784	1.868	0.842	1.899	0.942
M	0.68	0.277	0.73	0.287	0.92	0.401	0.2	0.087	0.62	0.249	1.42	0.583	1.569	0.627	1.835	0.889
J	0.45	0.213	0.48	0.224	0.61	0.311	0.13	0.069	0.41	0.193	0.94	0.44	1.039	0.476	1.211	0.567
J	0.37	0.083	0.4	0.089	0.51	0.122	0.11	0.027	0.34	0.077	0.77	0.168	0.849	0.183	0.977	0.218
A	0.19	0.05	0.2	0.055	0.25	0.076	0.056	0.018	0.17	0.047	0.41	0.095	0.455	0.105	0.501	0.115
S	0.08	0.04	0.09	0.045	0.1	0.062	0.02	0.015	0.07	0.037	0.18	0.073	0.204	0.081	0.217	0.079
O	0.08	0.092	0.09	0.099	0.09	0.142	0.01	0.033	0.07	0.082	0.15	0.179	0.181	0.193	0.187	0.198
N	0.16	0.201	0.19	0.21	0.21	0.305	0.04	0.07	0.15	0.177	0.3	0.41	0.357	0.438	0.386	0.389
D	0.42	0.375	0.47	0.377	0.47	0.552	0.09	0.12	0.35	0.326	0.86	0.815	0.979	0.861	0.879	0.845

**Gráfica 6.** Caudales simulados en ArcSWAT y WEAP (2010-2019) Zona “B” Cuenca Laguna Moa, en m³/s

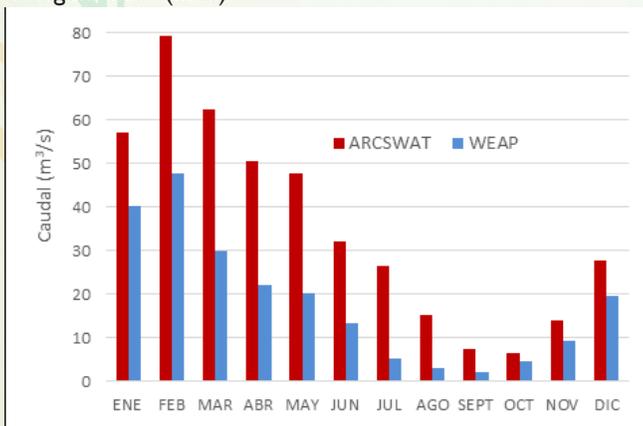


**Tabla 9.** Caudales simulados por subcuencas 2010-2019 – Cuenca Laguna Moa parte baja o llanura, en m<sup>3</sup>/s

MES	CUENCA MOA BAJA 1		CUENCA MOA BAJA 2		CUENCA MOA BAJA 3		CUENCA LIMON BAJO		CUENCA MOA BAJA 4	
	Arc SWAT	WEAP	Arc SWAT	WEAP	Arc SWAT	WEAP	Arc SWAT	WEAP	Arc SWAT	WEAP
ENE	4.347	3.754	1.369	1.121	21.372	14.957	13.485	8.715	5.167	3.102
FEB	6.732	4.595	2.063	1.372	29.714	18.307	18.631	10.667	7.564	3.797
MAR	5.685	2.857	1.725	0.853	22.745	11.384	14.387	6.633	6.159	2.361
ABR	4.783	2.116	1.454	0.632	18.428	8.432	11.611	4.913	5.119	1.749
MAY	4.572	2	1.384	0.597	17.724	7.966	11.045	4.642	4.837	1.652
JUN	3.007	1.285	0.915	0.384	12.249	5.121	7.5	2.984	3.141	1.062
JUL	2.461	0.504	0.743	0.15	10.209	2.008	6.214	1.17	2.531	0.416
AGO	1.344	0.268	0.406	0.08	6.066	1.069	3.685	0.623	1.386	0.222
SEPT	0.466	0.182	0.151	0.054	3.276	0.724	2.06	0.422	0.544	0.15
OCT	0.169	0.434	0.066	0.13	2.992	1.731	1.902	1.009	0.3	0.359
NOV	0.437	0.847	0.16	0.253	6.451	3.376	4.264	1.967	0.747	0.7
DIC	1.255	1.827	0.464	0.545	11.803	7.278	7.634	4.24	1.924	1.509

Por los resultados obtenidos de la simulación y en comparación con los aforos realizados en los ríos de interés, se puede indicar que existe cierta correspondencia no muy alejada de la realidad, lo que significa que de manera preliminar los modelos están reflejando la respuesta hidrológica adecuada de las cuencas estudiadas, pero confirman también, la necesidad de continuar con el monitoreo de la medición de los caudales, sin interrupción, para realizar la validación y calibración posterior de los modelos utilizados.

**Grafica 7.** Caudales simulados de ingreso a la cuenca de la laguna Moa (m<sup>3</sup>/s)



**Tabla 10.** Caudales simulados Cuenca de Laguna Moa, (m<sup>3</sup>/s)

MES	ArcSWAT	WEAP
ENE	56.966	40.077
FEB	79.311	47.508
MAR	62.422	29.827
ABR	50.623	22.146
MAY	47.563	20.256
JUN	32.111	13.327
JUL	26.512	5.217
AGO	15.142	2.823
SEPT	7.472	1.962
OCT	6.323	4.68
NOV	13.883	9.342
DIC	27.635	19.67

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación, que por falta de datos hidrométricos de la cuenca de la Laguna Moa (Fig. 3) no se pudo calibrar el modelo, muestra una sobrestimación a lo largo del año por parte del modelo SWAT, mientras que los resultados del WEAP son más conservadores (Grafica 7). Empero de acuerdo a las observaciones visuales de los 3 ingresos más importantes hacia la Laguna Moa, hidráulicamente se ha estimado que el caudal que ingresa en la época húmeda esta entorno a los 70 m<sup>3</sup>/s aproximadamente, lo que significa que el modelo SWAT posiblemente simula de mejor manera la época húmeda, mientras que el modelo WEAP simula mejor la época de estiaje, por cuanto se ha verificado que el caudal mínimo que ingresa a la Laguna Moa en estiaje no supera los 2.0 m<sup>3</sup>/s que fueron aforados en el mes de octubre del 2019 en el río Limón que es el único tributario que no seca.

**Foto 11.** Vista del río Limón, único tributario de la Laguna Moa que no se seca (Oct 2019)

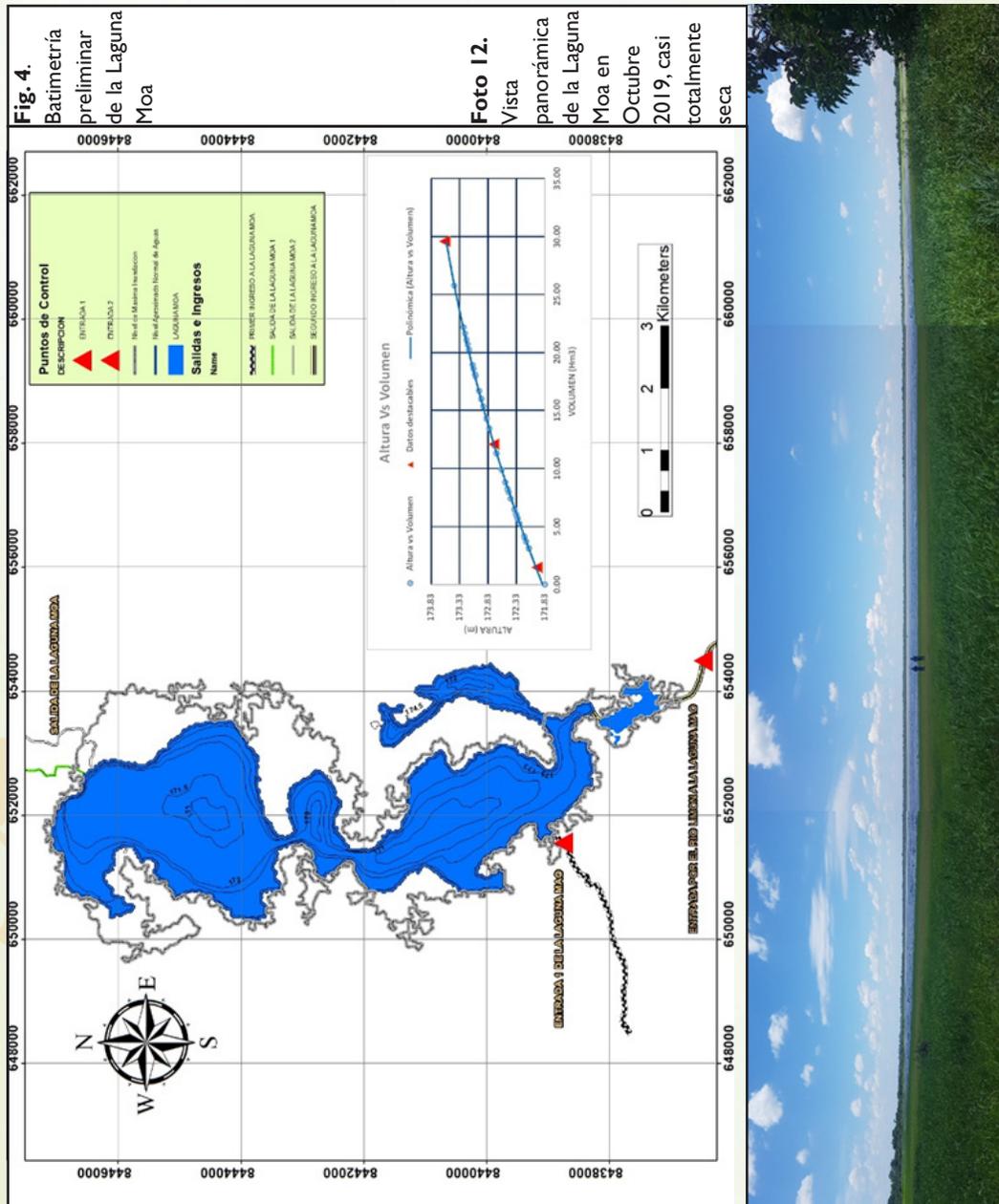


La Laguna Moa, cuya dinámica preliminarmente evaluada, requiere investigarse más aún, para esclarecer el compartimiento de regulación temporal que posee y su estrecha relación con la fluctuación de los niveles del río Beni. En época seca la Laguna drena hacia el río Beni.

Mientras que, en época húmeda el río Beni tributa, no se sabe en qué medida, a la Laguna Moa, según los comunarios de la pequeña población Cachichira, ubicada en la ribera del río Beni. El fondo de la Laguna se encuentra en la cota de 171.83 msnm y el espejo de agua llega a los 172.73 msnm normalmente en época de seca, mientras que la cota del espejo de agua en el río Beni es de 170.258 msnm. En época de lluvias el nivel de la Laguna llega a los 173.59 msnm aproximadamente, mientras que el nivel de aguas del río Beni llega a ser de 175.03 msnm (según los pobladores a ser investigadas) generando un desnivel de 1.44 m, lo que indica que el río Beni se encuentra por encima de la Laguna en dicha época.

### 5.4 CURVA ELEVACIÓN – VOLUMEN DE LA LAGUNA MOA

Después de varios intentos, finalmente en base al trabajo de campo preliminar, se ha podido construir la Curva Elevación-Volumen, que se presente a continuación en la Tabla 11 y Fig. 4.



**Tabla II.** Datos destacables de la Batimetría

Fecha de ingresos	H (m)	Cota(msnm)	Vol. (Hm³)
Octubre 2019	0.14	171.97	1.47
Septiembre 2018	0.9	172.73	12.09
Nivel Max. de inund. estimado	1.76	173.59	29.57

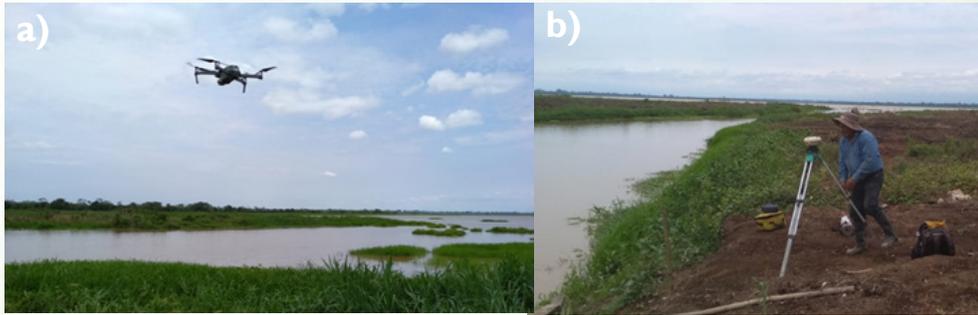
**Foto 13.** a) Medición de la profundidad - parte media 0.90 m (09/2018) y b) Pirañas de la Laguna



**Foto 14.** Vista panorámica de la Laguna Moa casi completamente llena, profundidad 0.90 m.



**Fotos 15** a) Mediciones con dron de apoyo para la batimetría de la Laguna Moa y b) Medición de niveles de los cuerpos de agua con GPS RTK doble frecuencia



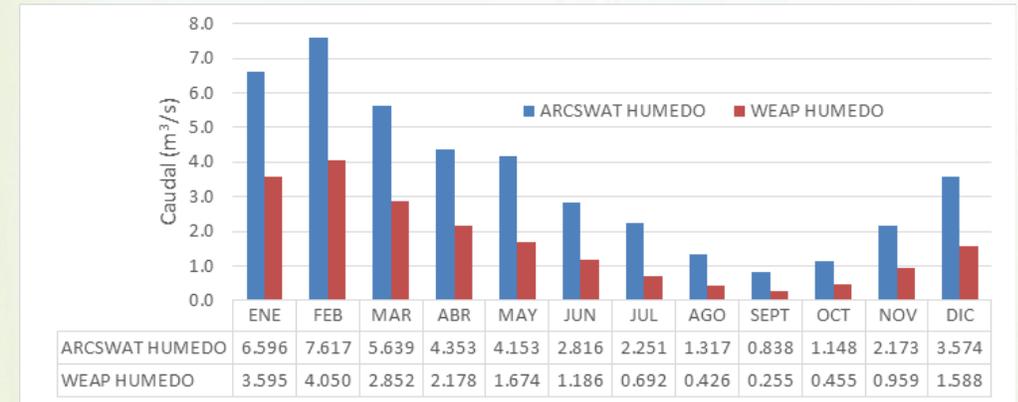
### 5.5 EVALUACIÓN EN ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO

La mayoría de los modelos climáticos para proyecciones futuras en Bolivia no concuerdan en sus resultados en lo referente a estimados de lluvias en términos de cambio en láminas totales, intensidad y distribución geográfica, dando situaciones plausibles de escenarios “secos” y escenarios “húmedos” donde las incertidumbres conciernen a la cantidad total, los ciclos y la intensidad de lluvia. (PMM, 2010).

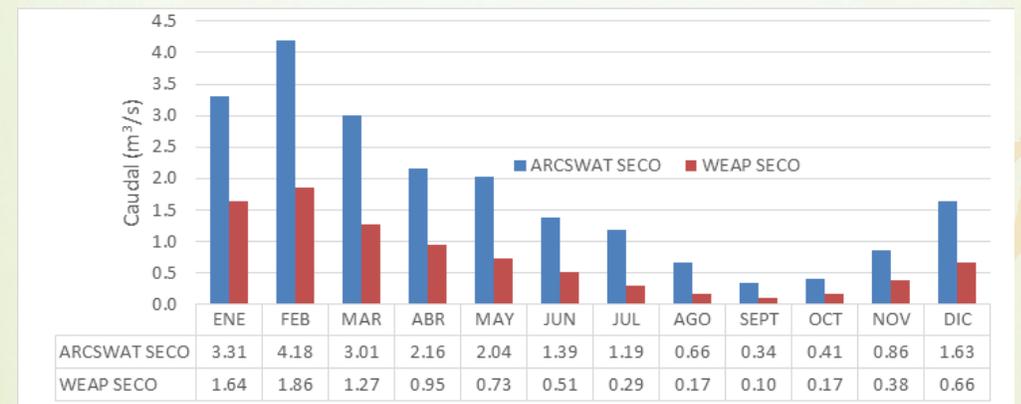
Para todo el territorio boliviano en promedio, los escenarios húmedos predicen un incremento promedio en la temperatura de 1.5 °C y un incremento promedio de la precipitación anual de un 22 % hasta el año 2050. Por su parte, los escenarios secos muestran un incremento promedio de 2.4 °C en la temperatura y un decremento de la precipitación anual del 19 % hasta dicho año. (Escenarios de Cambio climático 2050 para Bolivia, BM, 2010).

Considerando los escenarios climáticos propuestos por el BM, se han obtenido los resultados de la modelación hasta el año 2050, mismas que son estimaciones preliminares, que requieren de mayor información meteorológica que se viene recolectando y profundizar la investigación para mejorar la resolución y reducir la incertidumbre de los resultados.

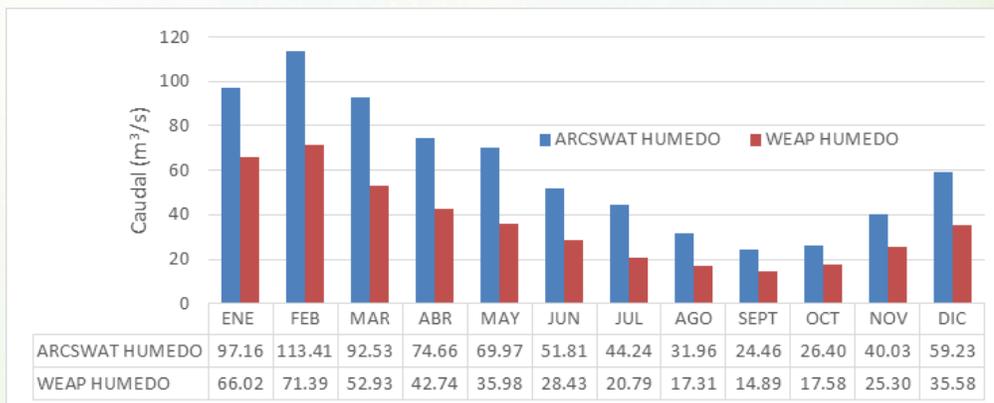
**Grafica 8.** Comparación de escenarios húmedos de caudales totales de las subcuencas de la ZONA “A”



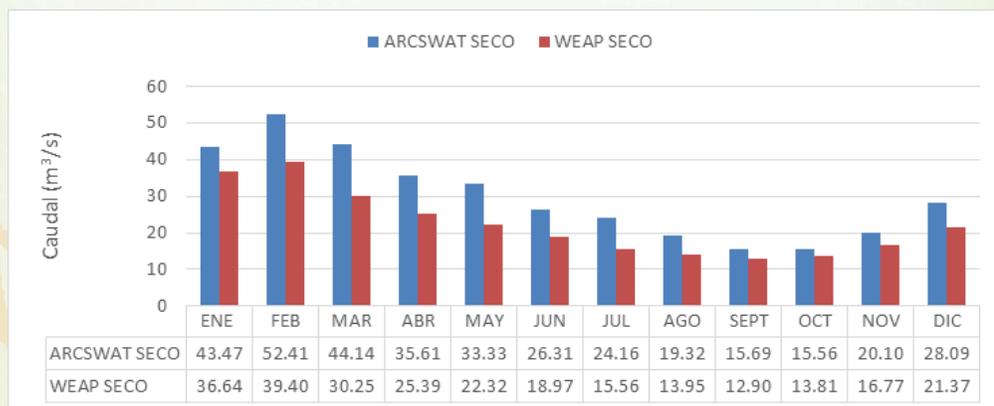
**Grafica 9.** Comparación de escenarios secos de caudales totales de las subcuencas de la ZONA “A”



**Grafica 10.** Comparación de escenarios húmedos de caudales de la Cuenca de la Laguna Moa (Zona “B”)



**Grafica 11.** Comparación de escenarios secos de caudales de la Cuenca de la Laguna Moa (Zona “B”)



No obstante que los resultados son preliminares, se evidencia que existe una disminución importante en la oferta hídrica de las 6 subcuencas estudiadas, de la Zona “A”, entorno a la población de Tumupasa y del Jardín Botánico al igual que en la cuenca de la Laguna Moa, que la convierte en un sistema muy sensible y frágil, cuya disminución sustancial puede convertir a la Laguna en un pantano de limo obligando a las especies a migrar y otras a desaparecer.

## 6. IMPACTOS DEL PROYECTO

Los impactos de esta fase de proyecto son positivos, por cuanto se han alcanzado los objetivos y se han generado las bases para el siguiente paso que consiste en la elaboración de la estrategia de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) que realmente esperan los beneficiarios en general, para desarrollar actividades productivas que generen mayor riqueza en la región y se cultive la resiliencia frente al cambio climático, así como realizar acciones para el aprovechamiento, la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales.

A nivel de los beneficiarios de la región:

La implementación del proyecto, en esta fase, ha generado mucha expectativa en los beneficiarios, ya que son conscientes y vienen conviviendo con la afectación del cambio climático que deja incertidumbres sobre la seguridad alimentaria y los sistemas de producción de alimentos que genere un desarrollo sustentable en la región y por lo tanto es importante conocer la disponibilidad temporal y espacial de los recursos hídricos y posteriormente plantear una gestión adecuada y eficiente de este recurso. La activa participación de los beneficiarios es una evidencia del impacto social y también ambiental en la generación de la información básica y el continuo registro de la información meteorológica e hidrométrica.

A nivel científico:

El monitoreo de las variables climáticas es una contribución al conocimiento y monitoreo del cambio climático, cuyos datos recabados en la zona permitirán reducir la incertidumbre sobre el cambio climático, mejorar la evaluación de los recursos hídricos en los modelos hidrológicos aplicados, generar mayor conocimiento y formar parte de la red, no solo en Bolivia, sino también a nivel mundial con el aporte de dicha información. Por otro lado, es también muy importante manifestar que, si hoy existe una crisis del agua en general, y más aún en la región de estudio, ésta no radica en que sea insuficiente para satisfacer las necesidades. Se debe a que se maneja tan mal que muchas personas, y el medio ambiente, sufren enormemente (WWV, 2008).

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto ha generado y continuará generando una base de datos climáticos que son de mucha utilidad para el desarrollo de otros proyectos de desarrollo o investigación en la región, gracias a la instalación de las estaciones meteorológicas, que incluso pueden reportar datos en tiempo real gracias a la comunicación existente.

Se ha logrado generar los modelos hidrológicos preliminares de las 14 subcuencas de la serranía (6 de la zona “A” y 8 de la zona “B”) y de las 5 subcuencas de la planicie (que se

encuentran en la zona “B”)

Los resultados muestran que existe suficiente recurso hídricos para satisfacer la demanda de consumo humano de todas las poblaciones del área, e incluso se pueden realizar trasvases de una subcuenca a otra en escenarios de estiaje prolongado o incidencias del cambio climático.

Las simulaciones preliminares realizadas, muestran que la influencia del cambio climático, en la región tiende a disminuir la disponibilidad de agua, pero con medidas de almacenamiento y/o cosecha de agua se puede afrontar dicha afectación.

Los resultados de las mediciones y modelaciones hidrológicas muestran que el área cuenta con un buen potencial hídrico (debido a la abundante cobertura vegetal presente en la zona) y toda actividad, incluyendo una posible agricultura intensiva, tendría el recurso hídrico necesario, pero siendo que, esta área es muy sensible a la afectación humana, la oferta hídrica de los ríos o arroyos monitoreados, dependen en gran manera de la presencia de bosque, en este sentido se debe evitar la pérdida del mismo.

Por otro lado, y después de varios intentos de acceso hacia la Laguna Moa, por las dificultades que representa, se realizó la batimetría preliminar, determinándose que la profundidad media, en época de lluvias puede sobrepasar los 1.5 m con un espejo aproximado de 16 km<sup>2</sup> mientras que en época de estiaje puede descender hasta los 15 cm de profundidad, formando tan solo pequeñas lagunas en su parte central de acceso totalmente dificultoso por el lodo que rodea la laguna. Por ende, la Laguna Moa es completamente sensible a la variabilidad climática y en periodos de estiaje prolongados puede secarse afectando de sobremanera la fauna y toda actividad productiva que se pretenda desarrollar.

Por lo expuesto, es necesario continuar con el monitoreo climático y mediciones hidrométricas, con cuya información se pueda mejorar la resolución de las modelaciones hidrológicas y reducir la incertidumbre sobre la afectación del cambio climático en la región.

Se recomienda, como siguiente fase del proyecto, desarrollar una Estrategia Integral de Gestión de Recursos Hídricos (GIRH), como “un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas” (GWP, 2000), teniendo como base fundamental los resultados obtenidos en esta fase, que realmente promueva el desarrollo sostenible en la región, aprovechando de manera racional y eficiente los recursos hídricos, no solo para consumo humano, sino también para otros usos productivos que generen riqueza local.

Se recomienda, en coordinación con las autoridades locales (Sub Alcaldía, CIPTA y Comunitarios que tienen parcelas entorno a la Laguna Moa), garantizar el acceso controlado a la

Laguna Moa en cualquier época del año y, por lo tanto, instrumentar o equipar la laguna con sensores de nivel, con evaporímetro y también con una estación meteorológica en la misma laguna. Información que será muy valiosa para determinar con precisión la dinámica de la laguna.

Por último, se puede afirmar que existe la necesidad de proseguir con la investigación y reducir muchas incertidumbres y desde luego proponer estrategias que realmente lleven a generar desarrollo sostenible en la región, dándole continuidad al trabajo desarrollado.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Calizaya T.A., 2009, Water resources management efforts for best water allocation in the Lake Poopo basin, Bolivia, ISSN. 1101-9824, Suecia.
- Dourojeanni A., Jouravlev A., & Chávez G. (2002), Gestión del Agua a Nivel de Cuencas: Teoría y Práctica, editorial CEPAL, Santiago de Chile
- Escenarios de Cambio Climático al 2050 para Bolivia, Banco Mundial, 2010. La Paz, Bolivia
- Global Water Partnership (GWP), 2006, Reducción de la pobreza y gestión integrada de los recursos hídricos, ISBN: 1652-5396, Suecia
- <http://www.fao.org/home/en/>
- <https://www.senamhi.gob.bo/sismet>
- Modelo SWAT, desarrollado por la USDA (Departamento de Agricultura de EEUU) y por la Universidad de Texas A&M (TAMU)
- Neitsch, S., Arnold, J., & Kiniry, J. (2005). Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua Documentación Teórica, 415. Retrieved from <http://swatmodel.tamu.edu/media/46964/swat2005-theo-doc-spanish.pdf>
- Proyecto Múltiple Misicuni (2010). PMM. [www.misicuni.gob.bo](http://www.misicuni.gob.bo)
- World Water Vision Report, 2008. [www.worldwatercouncil.org](http://www.worldwatercouncil.org)
- Yates, D., J. Sieber, and D. Purkey (2005a), WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1, Water Int., 30(4), 487–500.
- Yates, D., D. Purkey., J. Sieber, A. Huber-Lee., and Galbraith, H. (2005b), WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2, Water Int., 30(4), 501–512.

