



OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL VALLE ALTO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

COCHABAMBA, BOLIVIA

Maestría en Ciencias de la Geo - Información y Observación de la Tierra
Mención en Evaluación de recursos Hídricos
Decima versión

Ing. Erwin Alfredo Patzi Oller

Diciembre, 2017



**CENTRO DE LEVANTAMIENTOS AEROESPACIALES Y APLICACIONES SIG PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES**
Cochabamba, Bolivia

OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL VALLE ALTO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Por

Ing. Erwin Alfredo Patzi Oller

El presente documento, Trabajo de Grado es presentado al Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales en cumplimiento parcial de los requisitos para la obtención del grado académico de Magister en Ciencias de la Geo - Información y Observación de la Tierra, en la mención en: Evaluación de recursos hídricos

ASESOR

Ing. Mauricio Auza Aramayo M.Sc.
Ph.D. M.Sc. Ing. Mauricio F. Villazón Gómez

COMITÉ DE EVALUACIÓN

Examinador 1 (Presidente)
Examinador 2 (Asesor 1)
Examinador 3 (Asesor 2)
Examinador 4 (Docente CLAS)
Examinador 5 (Tribunal externo)



**CENTRO DE LEVANTAMIENTOS AEROESPACIALES Y APLICACIONES SIG
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES**
Cochabamba, Bolivia

Aclaración

Este documento describe el trabajo realizado como parte del programa de estudios de Maestría en el Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales. Todos los puntos de vista y opiniones expresadas en el mismo son responsabilidad exclusiva del autor y no representan necesariamente las del Centro.

Resumen

Este es el estilo del cuerpo del texto.

Palabras clave

Este es el estilo del cuerpo del texto.

Dedico este trabajo a inicialmente a Dios por permitirme terminar esta investigación y estar siempre a mi lado dándome fuerzas para no flaquear en mis metas propuestas.

Dedico esta investigación a mi Madre, Liliana, por la sabiduría y amor que me brindaste siempre, logrando que pueda culminar esta etapa en mi vida.

Agradecimientos

A mi PADRE Por haberme inculcado valores y por todos los consejos impartidos.

A mi FAMILIA Por la comprensión y el apoyo brindado a mi persona especialmente a mi ESPOSA.

A los AMIGOS a todos por su amistad.

A mi TUTOR un agradecimiento especial por su tiempo y conocimiento amplio brindado a mi persona.

Al Centro de levantamientos aeroespaciales CLAS por la formación adquirida, el apoyo e impulso brindado por mis docentes.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del problema	4
1.4. Objetivo general.....	4
1.4.1. Objetivos específicos.....	4
2. Marco teórico	5
2.1. Modelo de humedad del suelo del sistema de evaluación y planificación WEAP	5
2.1.1. Análisis de oferta de agua	6
2.1.1.1. Información climatológica	6
• Precipitación	6
2.1.1.2. Uso de suelos	7
Factores hidrológicos	7
2.1.1.3. Demanda urbana y riego	9
2.1.1.4. Calibración del modelo	9
2.2. Análisis del cambio climático	9
3. Marco metodológico.....	10
3.1. Área de estudio	10
3.2. Flujograma Metodológico	11
3.3. Información disponible y procesos	11
3.3.1. Delimitación de Cuenca.....	11
3.3.2. Uso de suelos.....	12
3.3.3. Clima.....	13
3.3.4. Demanda (Riego y embalses).....	13
3.3.5. Obtención de caudales.....	13
3.4. Procedimiento metodológico del WEAP	17
4. Resultados y discusión.....	18
4.1. CALIBRACION DEL MODELO	18
4.2. Cambio climático.....	20
5. Conclusiones	22

6. Recomendaciones.....	23
7. Referencias Bibliográficas	24
Anexos	25
Anexo 1. Precipitaciones proyectadas embalse presa México	25
Anexo 2 Caudales Promedios mensuales embalse presa México	29

Lista de figuras

Figura 1 Esquema del modelo hidrológico para dos reservorios. Fuente: Guía de Modelación para balances hídricos... 5

Lista de tablas

Tabla 1 Fuente. MMAyA. Guía para la elaboración de balances hídricos..... 9

1. Introducción

Los cambios climáticos que se vienen dando en nuestro planeta, sumado con la expansión demográfica agresiva y la industrialización, hacen necesario que se realice un análisis de los recursos hídricos de cada zona, priorizando el consumo humano, agrícola o con otros fines ambientales, razón por la que se usara el programa WEAP el cual es un modelo para la evaluación y planificación de los recursos hídricos que nos permitirá generar escenarios para la planificación de los recursos hídricos en la cuenca de estudio.

1.1. Antecedentes

Muchas regiones están enfrentando grandes desafíos en el manejo del agua dulce. La asignación de recursos hídricos limitados, las preocupaciones con respecto a la calidad ambiental, la planificación frente a la variabilidad e incertidumbre climática, y la necesidad de desarrollar e implementar estrategias sustentables para el uso del agua son temas cada vez más apremiantes para los planificadores de los recursos hídricos. Los modelos de simulación orientados al suministro convencional no son siempre adecuados para explorar la gama completa de opciones para el manejo de los recursos hídricos (Stockholm Environment Institute, 2017).

A lo largo de la última década, ha emergido un enfoque integrado hacia el desarrollo del agua que posiciona los proyectos de abastecimiento de agua en un contexto del sitio de demanda, y la preservación y protección de la calidad del agua y de los ecosistemas. WEAP incorpora estos valores en una herramienta práctica para la planificación de recursos hídricos y el análisis de políticas. WEAP ubica las condiciones del lado de la demanda de agua, tales como patrones de uso del agua, eficiencias de equipos, estrategias de la reuso, costos, y esquemas de asignación del agua en condiciones de igualdad con los temas relacionados con el suministro, tales como los caudales, los recursos de aguas subterráneas, embalses y trasvases. WEAP también se distingue por su enfoque integral al simular tanto los componentes naturales (ej. las demandas por evapotranspiración, escorrentía, flujo base) como los componentes de infraestructura (ej. embalses, bombeo de agua subterránea) de los sistemas hídricos. Esto permite que los planificadores accedan a una perspectiva más completa del amplio rango de factores que deben ser considerados en la gestión de los recursos hídricos para el uso presente y futuro. El resultado es una herramienta efectiva para examinar opciones para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos (Stockholm Environment Institute, 2017).

WEAP se ha aplicado en evaluaciones del recurso hídrico en docenas de países, incluyendo: los Estados Unidos, México, Brasil, Alemania, Ghana, Burkina Faso, Kenia, Sudáfrica, Mozambique, Egipto, Israel, Omán, Asia Central, India, Sri Lanka, Nepal, China, Corea del Sur, y Tailandia (Stockholm Environment Institute, 2017).

En nuestro país se realizaron algunos proyectos en la región andina que aplicaron el WEAP por ejemplo el más conocido es el análisis del Cambio Climático y la Crisis del Agua en La Paz y El Alto (Nick Buxton, 2013)

1.2. Justificación

La obtención de datos hídricos con fines de planificación actual y futura de los recursos hídricos, son muy requeridos actualmente por muchos gobiernos autónomos en nuestro país. En el contexto sobre la problemática que se tiene en el sector de estudio con los bajos niveles que presenta cada año el embalse de la angostura, se aplicará el modelo WEAP que permitirá evaluar las implicaciones del cambio climático para el desempeño del sistema de recursos hídricos. También es una herramienta eficaz para evaluar diversas estrategias de gestión del agua bajo distintas condiciones del cambio climático y otras incertidumbres. Es por esta razón que se aplicará este modelo para generar nuestros escenarios de planificación hídrica, aportando a las futuras tomas de decisiones de los municipios involucrados.

1.3. Planteamiento del problema

Los cambios en el clima que son producto de las alteraciones producidas por el hombre debido a la expansión demográfica agresiva sin una correcta planificación, uso indiscriminado de los recursos, etc. Estos cambios afectan los ciclos hidrológicos y para ello se debe es necesario contar con datos de oferta y demanda hídrica que nos permita evaluar y planificar los recursos hídricos actuales y sus posibles afectaciones con el cambio climático.

1.4. Objetivo general

Determinar la oferta y demanda hídrica de la cuenca del valle alto bajo escenarios de cambio climático empleando la herramienta WEAP.

1.4.1. Objetivos específicos

- Modelar el comportamiento hidrológico la cuenca del valle alto.
- Determinar el efecto del cambio climático sobre la oferta y demanda hídrica en la cuenca del valle alto.

2. Marco teórico

2.1. Modelo de humedad del suelo del sistema de evaluación y planificación WEAP.

El modelo conceptual hidrológico semi distribuido sugerido es el modelo de humedad del suelo del Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP). Se implementa a través de un esquema unidimensional, con una estructura de balance hídrico desagregada a escala de subcuenca.

La aplicación del modelo dentro la plataforma WEAP provee un ambiente para el posterior análisis de relaciones oferta-demanda.

El modelo comprende dos reservorios verticales. A través de aquello el flujo total se cuantifica mediante análisis del flujo superficial, las pérdidas por evaporación, la infiltración, la percolación y el flujo base. El esquema del modelo transmite la percolación profunda hacia un cuerpo de agua superficial o directamente hacia el acuífero subterráneo, de acuerdo a las características del sistema observado. La influencia embalses, la red de distribución y otras condiciones de operación, se asignan a los puntos extracción agua y se incorporan a los cálculos a través de criterios que maximizan la satisfacción de la demanda. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

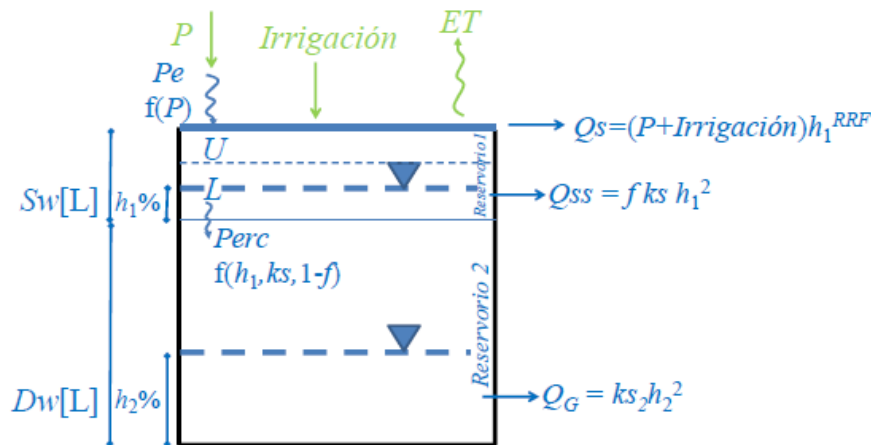


Figura 1 Esquema del modelo hidrológico para dos reservorios. Fuente: Guía de Modelación para balances hídricos.

U y L son los límites superior e inferior respectivamente.

Los caminos para implementar el modelo tienen en general características híbridas, con consideraciones basadas en la estimación física de los parámetros y consideraciones desarrolladas a partir de los resultados de un proceso de calibración, se busca promover la generación de productos comparables entre sí, donde el número de parámetros a calibrar sea el menor posible, con el consiguiente beneficio en términos de una reducción en el rango de incertidumbre predictiva del proceso. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

2.1.1. Análisis de oferta de agua

2.1.1.1. Información climatológica

- **Precipitación**

Dependiendo de los datos de precipitación obtenidos, estos se deben procesar para lograr series de datos continuos para el periodo de modelación. Generalmente, los datos de precipitación pueden presentarse en diferentes formatos incluyendo: Isoyetas, Relaciones de altura precipitación, grillas meteorológicas o alguna otra opción. (Stockholm Environment Institute, Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, 2009)

- **Temperatura**

Debido a la distribución espacial y temporal de la temperatura, se considera que es suficiente una extrapolación por altura de la información de temperatura proveniente de un grupo de estaciones representativas dentro de la cuenca. El gradiente de temperatura con la altura se estima considerando los valores de temperatura promedio para estaciones ubicadas a diferentes elevaciones.

- **Viento Humedad y latitud**

La asignación de las variables humedad y viento requiere de una clasificación por altura de todos los parámetros de la cuenca. Por ejemplo, para estas variables climáticas, se puede considerar el promedio mensual histórico de estaciones, para la latitud se puede determinar con un SIG el centroide de la cuenca de estudio. (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute., 2009)

1.1.1.1. Condiciones hidrológicas existentes en la Cuenca

- **Ríos**

Información hidrométrica se debe clasificar y ordenar de forma que se tengan disponibles datos de series históricas de caudales, las cuales serán posteriormente utilizadas en la calibración del modelo.

- **Infraestructura física de control y aprovechamiento de recursos hídricos**

Los diferentes elementos de infraestructura física se deben localizar espacialmente. Así mismo, se debe identificar su importancia dentro de la construcción del modelo para poder asignar prioridades en el momento de la incorporación de operaciones de estos elementos. Los principales elementos a considerar son: Embalses, Sistemas de regadío, Sistema de distribución de agua potable para ciudades. (Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute., 2009)

1.1.1.2. Análisis de demanda de agua

2.1.1.2. Uso de suelos

Factores hidrológicos

Coefficiente de cultivo K_c .- Para coberturas, los valores se obtienen por trabajo de campo o mediante valores referenciales de la literatura, Por otro lado, es factible considerar que el K_c para cobertura vegetal nativa es invariable en el año. Para el caso de los cultivos, los K_c tienen variabilidad mensual (estacional). (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces SW (mm).- Se estima directamente a partir de la profundidad máxima en la zona de raíces, Alternativamente, valores menos optimistas se obtienen al asociar el parámetro con el almacenamiento potencial de agua en el suelo o agua disponible en la zona radicular del suelo [mm] , En el último caso, Sw se calcula como el producto entre la profundidad radicular [m] y la capacidad de retención de humedad del suelo CRH; estos factores se estiman a partir de valores referenciales de la literatura o mediciones en campo. A su vez el CRH se estima como la diferencia entre el contenido de humedad en el suelo a capacidad de campo [m³/m³] y el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m³/m³] . (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda DW (mm).- Se estima como un valor único para toda la cuenca, asumiendo un solo reservorio horizontal subterráneo. El valor se ignora cuando el sitio de la demanda recarga el acuífero local. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Se infiere por calibración del modelo, debido a que su estimación es compleja a través de información física (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Factor de resistencia a la escorrentía RRF .- Controla la respuesta de la escorrentía superficial. Valores altos implican tasas bajas de escorrentía y viceversa. Valores estimados en base a calibración del modelo varían en el rango de 0.1 a 10. El RRF se lo relaciona teóricamente con el LAI (índice de área foliar), a su vez estimado a partir de técnicas de teledetección o a partir de referencias en la literatura

Valor inicial del nivel de humedad en la zona de raíces (h_1) y la zona profunda (h_2).-Es una condición de borde en la simulación. Representa el almacenamiento relativo expresado en porcentaje del almacenamiento efectivo total de Sw . Los valores máximos para la calibración corresponden al contenido de humedad en el punto de marchitez permanente. En referencia al valor inicial del nivel de humedad en la zona profunda (h_2), el mismo no se considera cuando el nodo de demanda recarga al acuífero local. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016).

Dirección preferencial de Flujo (f).-Depende de la cobertura del suelo. Varía desde 1 para flujo 100% horizontal, a 0 para flujo 100% vertical. Los valores se estiman al inicio de las simulaciones. Los valores finales se definen por calibración. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Conductividad saturada de la zona profunda Ks_2 .- Representa el flujo máximo posible cuando $h_2=1$. Es un valor único para toda la cuenca y no se considera cuando el nodo de demanda recarga el acuífero local. Controla el flujo subterráneo a través de una relación directamente proporcional. Una posibilidad

para estimar valores iniciales es a través de la geología local. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Conductividad de zona de raíces K_s cuando $H1=1$. -Es el máximo flujo posible cuando el reservorio "1" está a capacidad de campo. Al referirse en teoría a un parámetro físico, estos valores se estiman a través de referencias generales de la literatura (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

Valores estimados en la literatura para los parámetros del modelo de humedad en el suelo

Cobertura	Sw (mm)			RRF			f		
	(Espejo A. 2016)	(Gonzales, 2016)	(Soria, 2016)	(Espejo A. 2016)	(Gonzales, 2016)	(Soria, 2016)	(Espejo A. 2016)	(Gonzales, 2016)	(Soria, 2016)
<i>Bosque denso</i>	200	1800		5	3.3		0.55	0.15	
<i>Bosque denso andino montano semihúmedo</i>		350			1.9			0.9	
<i>Bosque ralo suculentas</i>	200	350		5	1.9		0.55		
<i>Bosque ralo esclerófilo</i>	190	350		5	1.9		0.55		
<i>Bosque o monte ralo</i>		350			1.9			0.9	
<i>Matorral, pajonal andino montano semi árido</i>		350			1.9			0.9	
<i>Matorral, Chiquitano sobre ondulaciones y llanuras</i>		1800			3.3			0.15	
<i>herbazal graminoide, llanura inundada estacionalmente, llanura inundada por periodos cortos</i>		1800			3.3			0.15	
<i>Herbazal graminoide, puna altoandina árida</i>		350			1.9			0.9	
<i>herbácea graminoide</i>	155	350		4.5	1.9		0.65		
<i>Gramadal camefital</i>			90			2.5			0.15 (<3000 msnm); 0.5(>3000msnm)
<i>Vegetación dispersa en pedregales puna altoandina semiárida</i>		350			1.9			0.9	
<i>Arbustos dispersos</i>	150			4.5			0.65		
<i>Arbustal con pajonal</i>			90			2.1			0.15 (<3000 msnm); 0.5(>3000msnm)
<i>Arbustal con pajonal/pastos</i>			140			2.1			0.15 (<3000 msnm); 0.5(>3000msnm)
<i>Pajonal</i>			130			2.5			0.15 (<3000 msnm); 0.5(>3000msnm)
<i>Tholar</i>			180			2.1			0.15 (<3000 msnm); 0.5(>3000msnm)
<i>Cultivos</i>	210	800	150	4	4	4.2	0.65	0.5	0.5
<i>Estructura urbana y Rural, ciudades y pueblos</i>	150	100		2	1		0.9	0.9	
<i>Cuerpos de agua</i>	180	1000		6	7		0.5	0.5	

<i>Superficie descubierta cárcavas</i>	180			3			0.85		
<i>Superficie descubierta arena</i>	170	1000		3	2		0.85	0.5	
<i>Superficie descubierta, suelos muy poco profundos y afloramientos rocosos</i>						1.3			

Tabla 1 Fuente. MMAyA. Guía para la elaboración de balances hídricos.

2.1.1.3. Demanda urbana y riego

La demanda urbana se considera de la información proveniente de censos, el WEAP con una opción, puede generar la tasa de crecimiento poblacional. Generalmente se caracterizan las demandas urbanas de acuerdo con el número de habitantes, tasa de crecimiento, y consumo per cápita. En el modelo se puede llegar a mayor detalle de demandas se pueden desagregar en subcategorías para incluir aspectos de interés como, por ejemplo, el uso interno de casas (duchas, cocinas, sanitarios, etc.) y usos externos (riego de jardines, lavado de fachadas, etc.), del mismo modo se puede realizar la demanda agrícola de consumo por unidad productiva o por el caudal requerido para los meses de producción.

2.1.1.4. Calibración del modelo

La calibración es un procedimiento que consta de cuatro componentes funciones objetivo, los datos de calibración, la estrategia de ajuste y el criterio de finalización. La validación es también parte del proceso, al proveer una herramienta adicional para juzgar el desempeño del modelo. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), 2016)

2.2. Análisis del cambio climático

El enfoque del cambio climático sugiere un desequilibrio en el balance energético de la Tierra. El forzamiento radiativo (FR) cuantifica el cambio en los flujos de energía originados por variaciones en la acción de procesos naturales y antropogénicos (FB, 2013). El AR5 del IPCC describe cuatro Trayectorias Representativas de Concentración (RCP). Cada escenario se identifica por su FR total para el año 2100, que varía de 2.6 a 8.5 W/m², dando lugar a los RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5. Los escenarios de cambio climático no son una predicción ni un pronóstico del cambio futuro; son proyecciones en base a supuestos de la evolución de las condiciones futuras. Bajo un enfoque de cambio climático, estos escenarios son implementados a través de representaciones matemáticas del sistema atmosférico (modelos de circulación global - GCM). Estos modelos matemáticos se definen a través de percepciones particulares, en un número amplio de institutos de investigación. En consecuencia las estructuras de los modelos varían, así como los resultados obtenidos por las corridas correspondientes. Como resultado de tal divergencia y dado el limitado conocimiento de la comunidad científica global respecto a la variabilidad inherente a los procesos naturales y a la futura evolución de la sociedad, no existe consenso respecto a cómo serán las condiciones futuras. Ante tal complejidad, las salidas de los GCM proveen una referencia válida que proporciona una idea general de posibles futuros estados del sistema hídrico.

3. Marco metodológico

3.1. Área de estudio

El Valle alto comprende 5 provincias y 16 municipios autónomos que Son: Santiváñez, Arbieto, Tarata, Anzaldo, Sacabamba, Tolata, Cliza, Toco, San Benito, Punata, Villa Rivero, Tacachi, Villa Gualberto Villarroel, Araní y Vacas, la cuenca del valle alto abarca gran superficie en algunos municipios y poca superficie en otros, se tiene como dato que esta cuenca abarca Aproximadamente 1927 Km².

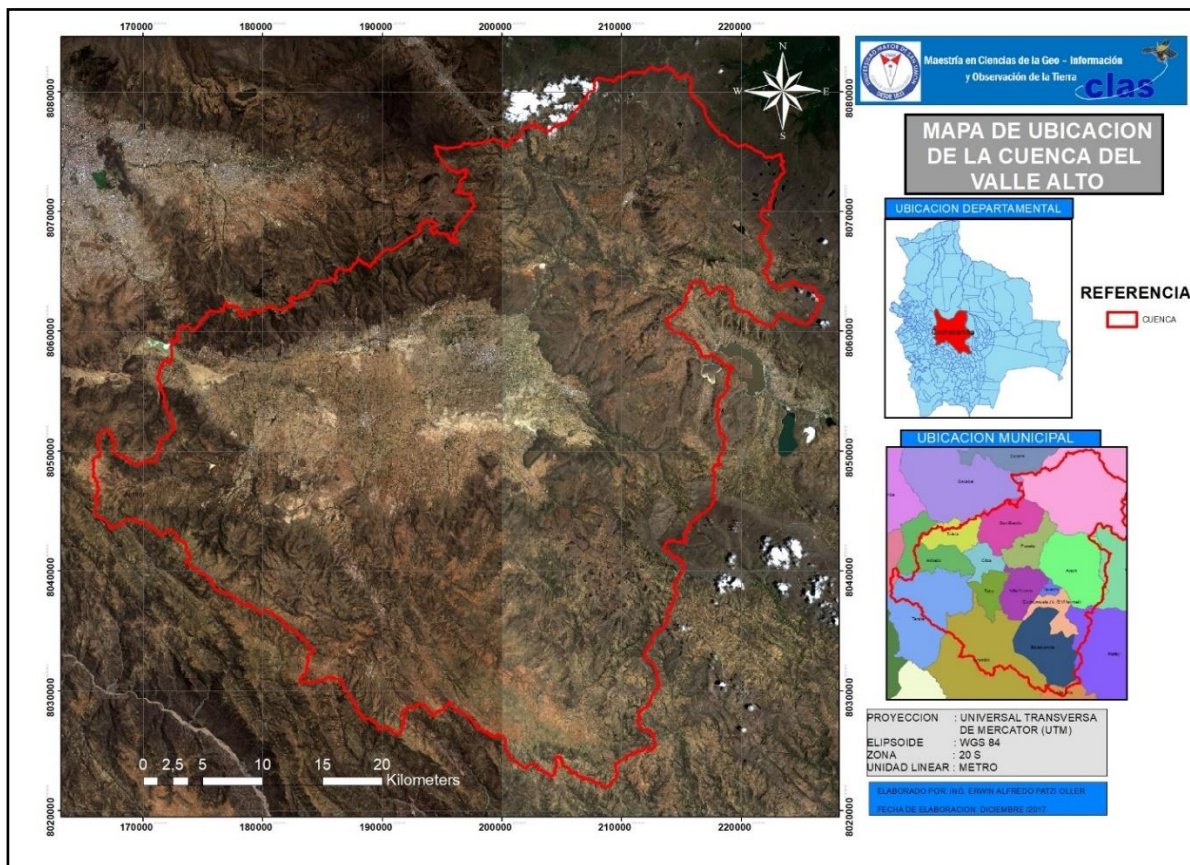
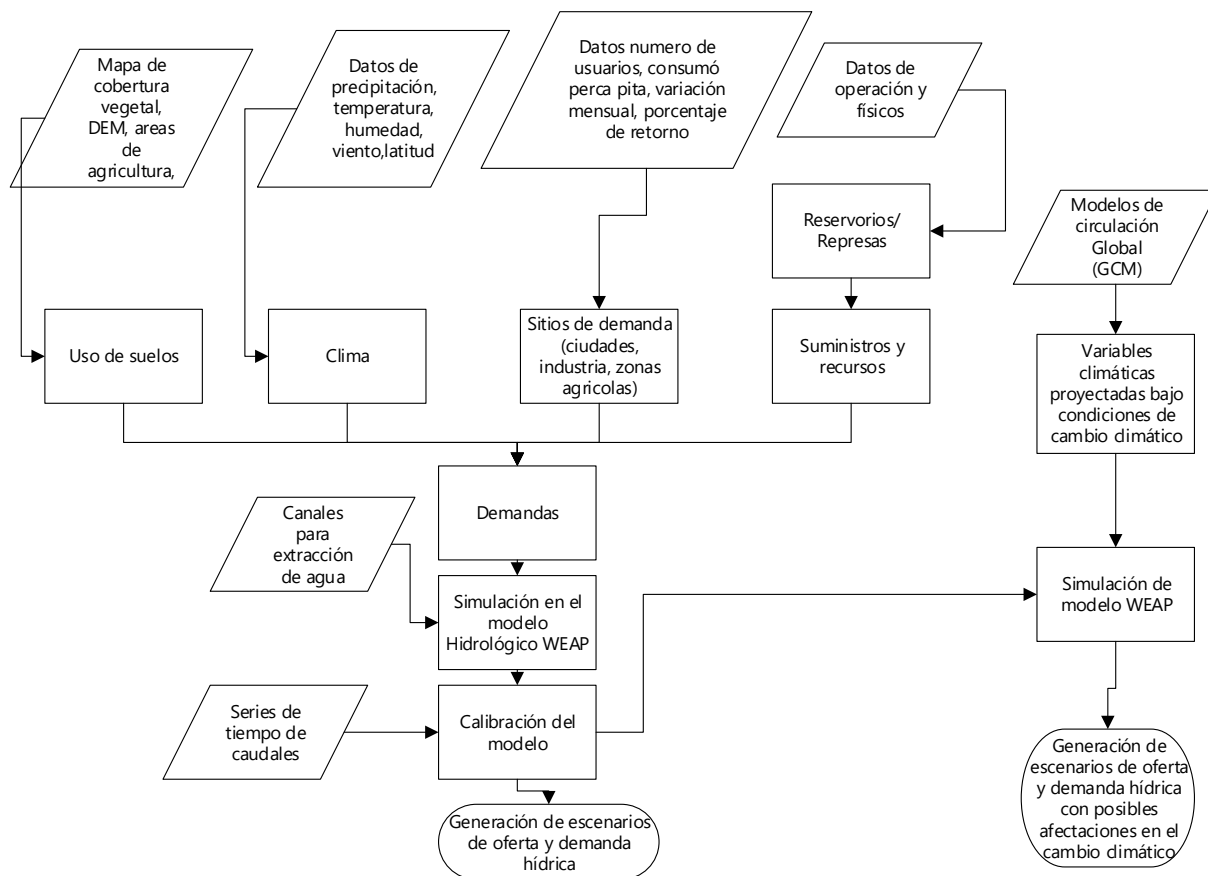


Figura N 1 Mapa de ubicación cuenca del valle alto – imagen sentinel - 2

3.2. Flujograma Metodológico



3.3. Información disponible y procesos

Al usar el método de Humedad del suelo en el Programa WEAP se analizó la siguiente información.

3.3.1. Delimitation de Cuenca

Para la delimitación de la cuenca se utilizó el programa WEAP el cual tiene la opción de delimitación de cuencas en este proceso identifica su centroide y el área de la cuenca en estudio, así mismo mediante su base de datos de imágenes SRTM identifica el curso de los ríos y servirá para la identificación de alturas de los diferentes usos de suelos del sector.

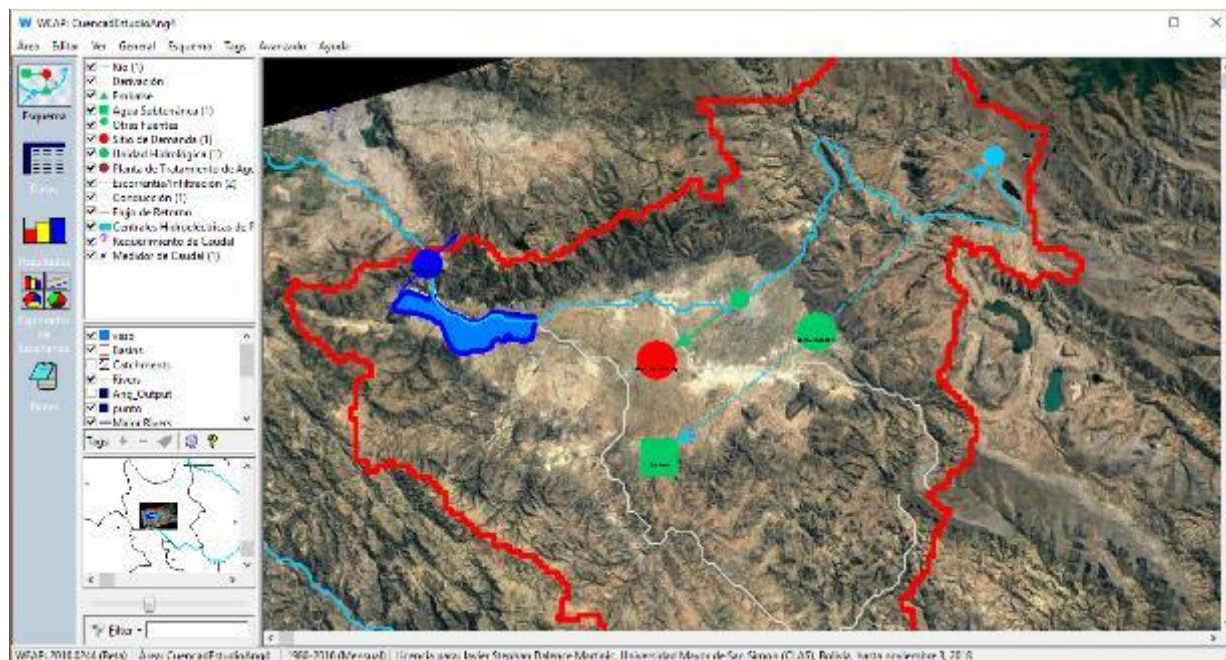


Figura N°2 Delimitación de la cuenca en el programa WEAP

3.3.2. Uso de suelos

Se realizó la selección de la opción MODIS del programa WEAP este tiene una precisión de $0,05^\circ$ (15 arcseg) esta opción puede clasificar hasta 17 categorías las cuales dependerán del tipo de uso de suelos que existan en la zona, en nuestro caso de estudio se clasificó en 7 categorías las cuales son:

Clasificación		Hectáreas
Barren	Terreno estéril	123
Cropland and Natural Vegetation	tierras de cultivo y vegetación natural	205
Croplands	tierras de cultivo	4266
Grasslands	pastizales	132417
Savannas	sabanas	226
Shrublands	matorrales	64251
Urban	urbano	2072

Tabla 2 Clasificación según MODIS

<i>Parametros</i>	<i>Barren</i>	<i>Cropland and Natural Vegetation</i>	<i>Croplands</i>	<i>Grasslands</i>	<i>Savannas</i>	<i>Shrublands</i>	<i>Urban</i>
RRF	3	4	3.5	2.1	3.1	2.1	1
SWC [mm]	180	800	800	640	640	660	100
RZC [mm/mes]	3	8	10	7	7	7	1
PFD	0.55	0.5	0.65	0.6	0.6	0.6	0.9
DC [mm/mes]	20	20	20	20	20	20	20
DWC [mm]	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Z1	30	30	30	30	30	30	30
Z2	30	30	30	30	30	30	30
* los valores fueron sacados de la tabla N°1, los valores marcados en verde son los asumidos por defecto del programa y los de color naranja son valores usados en la calibración del modelo.							

Tabla 3 valores usados para el uso de los suelos

3.3.3. Clima

3.3.3.1. Precipitación, Temperatura y viento

Se accedió a los Datos de Grillas meteorológicas (GMET) las cuales fueron usadas en el balance hidrológico nacional, estas tienen una resolución de 0,5° la base de datos es desde 1981 hasta Agosto de 2016 para temperatura y precipitación, estos datos mensuales están plasmados en el WEAP.

Para los datos de viento se usó la base de datos de AASANA.

3.3.4. Demanda (Riego y embalses)

Teniendo conocimiento que el uso y abastecimiento para agua potable en su mayoría es por medio de pozos profundos e incluso se llega a usar para riego en algunas zonas, por esto no se toma en cuenta este dato, en cambio un punto crítico que hace variar el caudal en meses críticos desde enero hasta abril es por la demanda de riego que se tiene en las zonas altas las cuales afectan directamente el flujo base en estos meses de almacenamiento de los pequeños embalses y atajados que se tienen registrados según el PROAGRO hasta EL 2010 y no registrados hasta la fecha, se asume un valor que fluctúa Enero – 2 m³/s, Febrero – 5 m³/s, Marzo – 5 m³/s, Abril – 1,5 m³/s.

3.3.5. Obtención de caudales

Se recabo información del Sistema N°1 Angostura a los cuales se pudo tener acceso a mediciones continuas desde enero del 2008 hasta diciembre del 2017, así mismo se tuvo acceso a la información batimétrica realizada por el SENAMHI el año 2013, según información del SENAMHI se realizaron diferentes batimetrías las cuales no se cuentan con los datos en las instituciones (*ver tabla 4*), a continuación, se detalla el procedimiento realizado.

Fecha de Batimetría	Volumen (m3)	Entidad Ejecutora	Observaciones
Septiembre de 1990	-	Firma de ingenieros por A.U.S.N.R. Nro. 1	No se cuenta con los resultados obtenidos del estudio batimétrico.
En el año 2003	89'900.000,00	FUENTE: Estimación de patrones espaciales de erosión y de deposición en la región andina, usando técnicas de geo información, por Carlos Saavedra.	El resultado se refiere al volumen de agua que se puede almacenar hasta alcanzar el nivel máximo de operación.
Enero de 2011	88'540.839,451	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Unidad de Hidrología SENAMHI-BOLIVIA	Es el volumen de agua que puede almacenarse cuando la superficie libre alcance la cota de NAMO.
	2'455.618,538		Es el volumen de agua almacenada hasta la fecha de trabajo de campo. La cota del espejo de agua corresponde a 2705.45.
Noviembre de 2013	88'501.221,110	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Unidad de Hidrología SENAMHI-BOLIVIA	Es el volumen de agua que puede almacenarse cuando la superficie libre alcance la cota de NAMO.
	3'862.560,160		Es el volumen de agua almacenada hasta la fecha de trabajo de campo. La cota del espejo de agua corresponde a 2705.54.

Tabla 4 Fuente: SENAMHI

Con el único dato batimétrico que se tiene se realizó una comprobación del volumen en el software ArcGIS para determinar el volumen del vaso y compararlo con el obtenido por el SENAMHI.

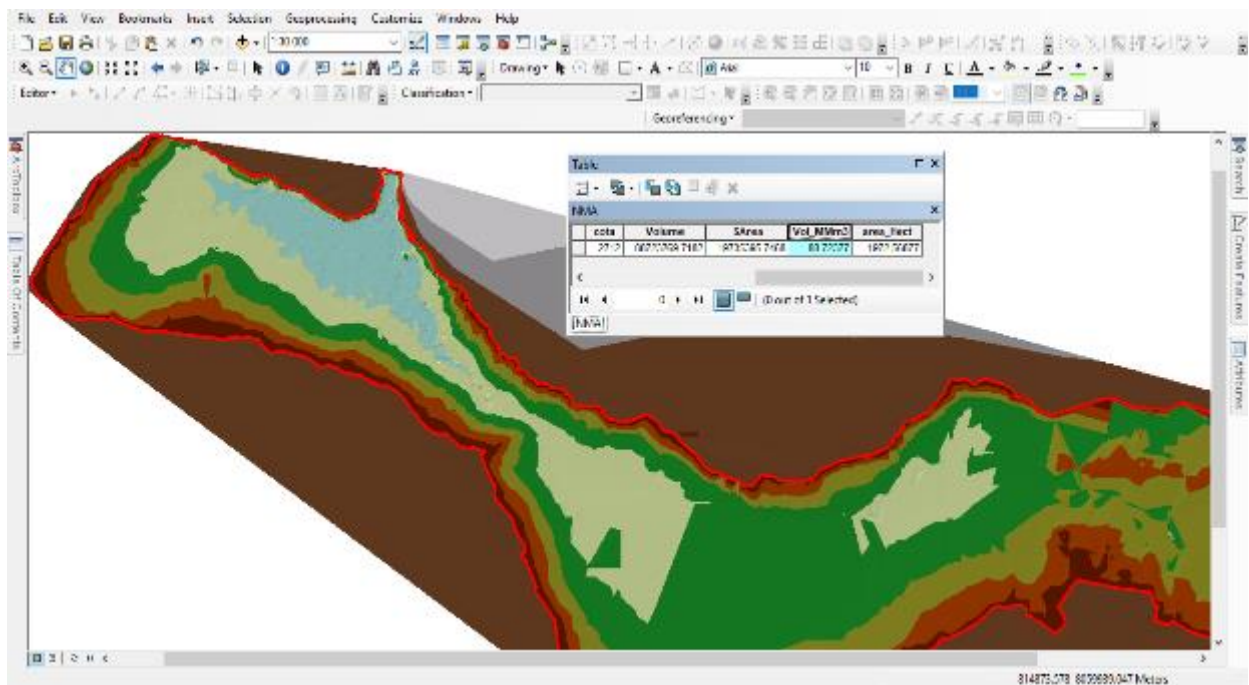


Figura 3 volumen total de almacenamiento a partir del TIN.

VOLUMEN SENAMHI		
2703.5	19.28	0.00
2704	67.43	0.22
2704.5	110.13	0.66
2705	233.63	1.52
2705.5	253.11	2.74
2705.54	247.16	2.84
2706	492.57	4.54
2706.5	645	7.38
2707	856.31	11.14
2707.5	965	15.69
2708	1300.56	21.35
2708.5	1326.4	27.92
2709	1546.4	35.10
2709.5	1650.39	43.09
2710	1742.38	51.58
2710.5	1810.83	60.46
2711	1882.05	69.69
2711.5	1930.34	79.22
2712	1977.63	88.99

Tabla 5 Volumen según área Obtenida por el SENAMHI

Para este caso la diferencia fue menor, es así que se asumió el volumen hallado por el SENAMHI., también se asumió las lecturas que de acuerdo a gerencia estas fueron lecturadas según la batimetría de 1990, la diferencia de cotas es de 1 metro analizando los datos en la batimetría de 1990 no se debió tomar en cuenta la altura total incluyendo parte de las aguas muertas del embalse, es por esta razón se optó por subir un metro las lecturas, así mismo la cantidad de hectáreas de la batimetría de 1990 sería superior a la tomada por el SENAMHI, . Una vez definidos estos parámetros se procesó la información para la obtención de volúmenes diarios apartir de las ecuaciones de altura- volumen y altura- área.

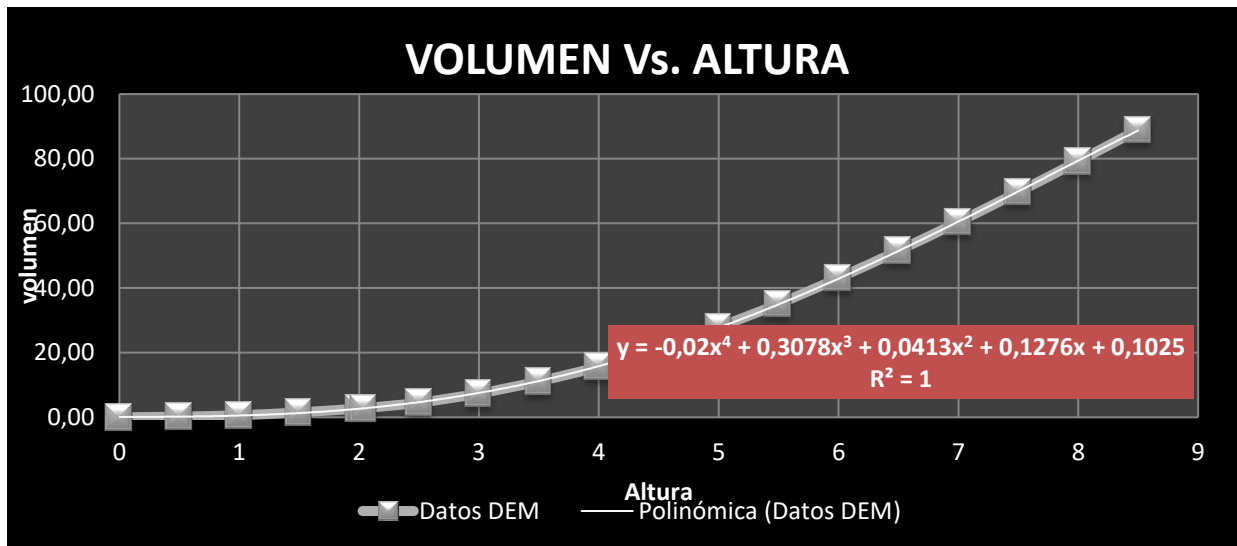


Gráfico 1

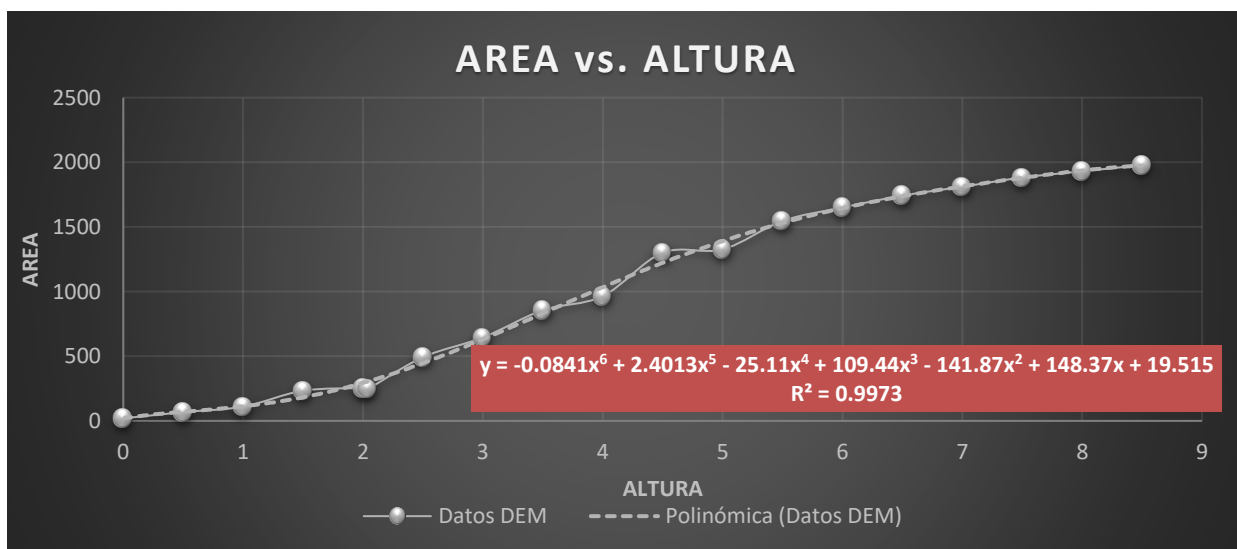


Gráfico 2

Obtenidas las ecuaciones se realiza la obtención de áreas, volúmenes para lo cual el volumen es obtenido a partir de la siguiente formula $V_{fin} = V_{inc} + V_{prec} - V_{riego} - V_{evpt}$ y el caudal se obtiene apartir de $Q_{diario} = V_{inc-siguiente} - V_{final}$ apartir de estos datos se obtiene los caudales por segundo a continuación se muestra el análisis realizado en tabla :

Fecha	Escala Final	Volumen embalsado (Mm3) (1)	Area (Ha) (2)	precipitacion (3)	Volumen Precipitacion Mm3 en vaso (2*3)= (4)	volumen de Riego (Mm3) (5)	Volumen perdida por evapotranspiracion (Mm3) (6)	Volumen final (1+4-5-6)=7	caudal (Q) Mm3/día (1-7)=8
14/12/2008	5.81	39.8151384	1606.66	3	0	0.16416	0.024099872	39.6268786	0.268734
15/12/2008	5.815	39.8956126	1607.78	7	0.000481997	0.08208	0.024116693	39.7898979	0.1862565
16/12/2008	5.82	39.9761544	1608.9		0.001125446	0.00432	0.024133479	39.9488263	0.3501694
17/12/2008	5.84	40.2989957	1613.35	25	0	0	0.024200264	40.2747955	0.2670359

Tabla 6 cálculo de volumen y caudal

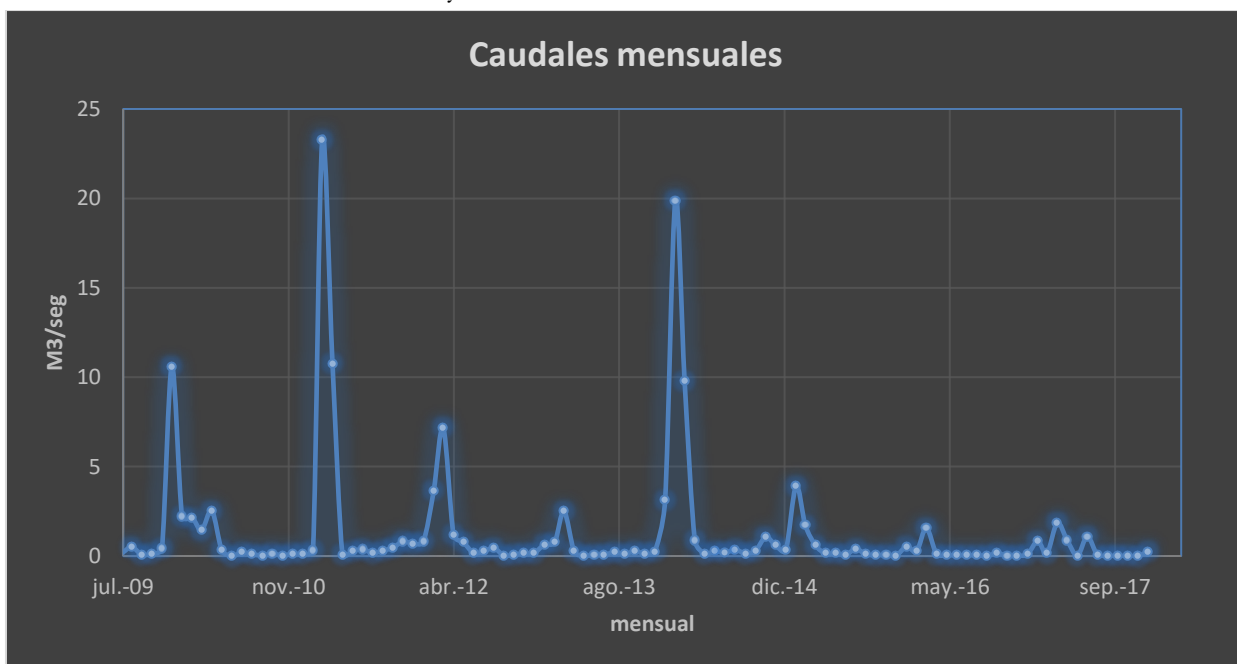


Gráfico 2

3.4. Procedimiento metodológico del WEAP

Se realiza la construcción de un esquema dentro la delimitación de la cuenca en este paso podemos agregar capas vector y raster, con los nodos para el ingreso de los datos de Uso de suelos, clima y demanda de riego al modelo ingresamos los valores que se requieren en este caso los requeridos para el método de humedad del suelo, el programa WEAP permite modificar los escenarios generados, para proceder a la primera corrida del programa se ingresan los datos de caudales mensuales observados estos se compararan para el siguiente paso que es la calibración del modelo la cual el programa tiene una interface de calibración que es semi automática llamada PEST la cual por el tiempo y por la cantidad abundante de variables que se tiene no se usara, en nuestro caso se usara el programa CALITOOOLS programa creado por el Dr. Mauricio Villazón más accesible y simple. Una vez calibrado se tiene el escenario de oferta y demanda hídrica.

Para el cambio climático se asume los valores de la cuenca pucara al estar dentro de la cuenca del valle alto en este caso solo se usará la el escenario más pesimista el cual es el RCP 8.5 el cual se muestra a continuación:

Tabla de Factores 2 ΔP

2030 RCP 8.5 Precipitacion (mm)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
63.37	58.73	28.75	22.17	6.81	-0.95	4.1	-6.63	-11.42	-1.77	20.9	32.25

2050 RCP 8.5 Precipitacion (mm)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
34.38	-41.89	-19.33	7.88	8.14	-4.78	-4.27	0.51	3.46	-3.07	-36.96	-52.5

2070 RCP 8.5 Precipitacion (mm)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
30.35	10.96	36.54	-8.95	-2.43	-0.33	0.81	5.1	-4.82	-3.47	-11.6	-21.24

2030 RCP 8.5 Temperatura (°c)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1.3	1.25	1.24	1.3	1.56	1.31	1.27	1.61	1.42	1.49	1.37	1.48

2050 RCP 8.5 Temperatura (°c)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.88	0.94	0.83	0.74	0.6	0.89	0.86	0.92	1.01	1.27	1.09	0.92

2070 RCP 8.5 Temperatura (°c)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0.98	0.94	0.87	0.85	0.93	0.85	0.87	0.97	1.51	1.03	1.01	1.02

Fuente: Palma, 2016

4. Resultados y discusión

4.1. CALIBRACION DEL MODELO

Para este fin se realizo la calibracion inicialmente manual analizando algunas anomalias que se presentaron posterior a esto se realizo la calibracion con el programa CALITOOLES el cual logro optimizar la eficiencia de 0,55 a 0,8 (ver grafico 4)

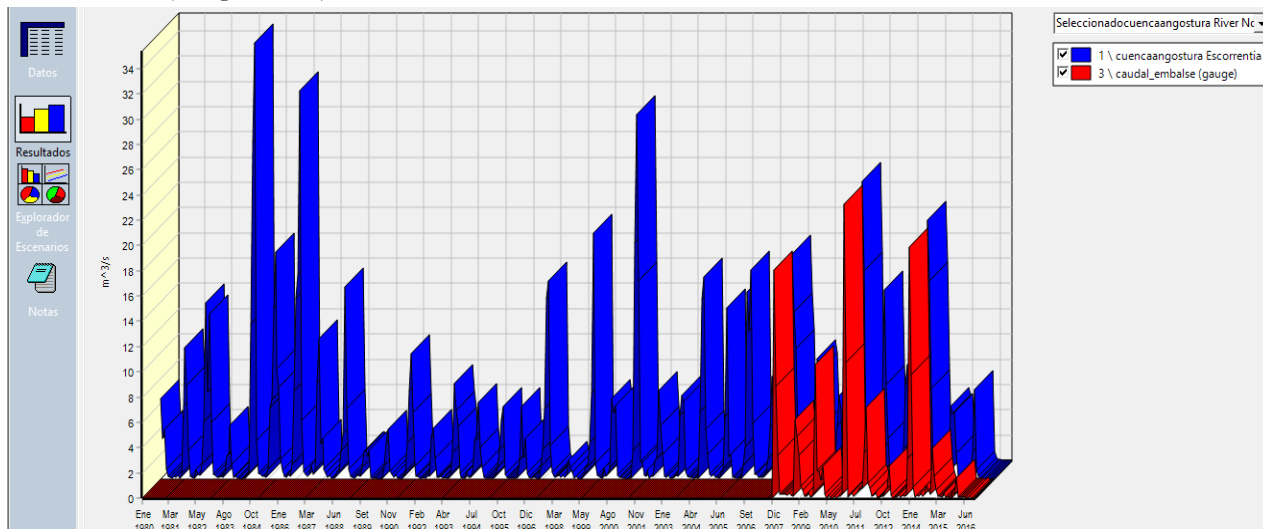


FIGURA 5. Resultado WEAP.

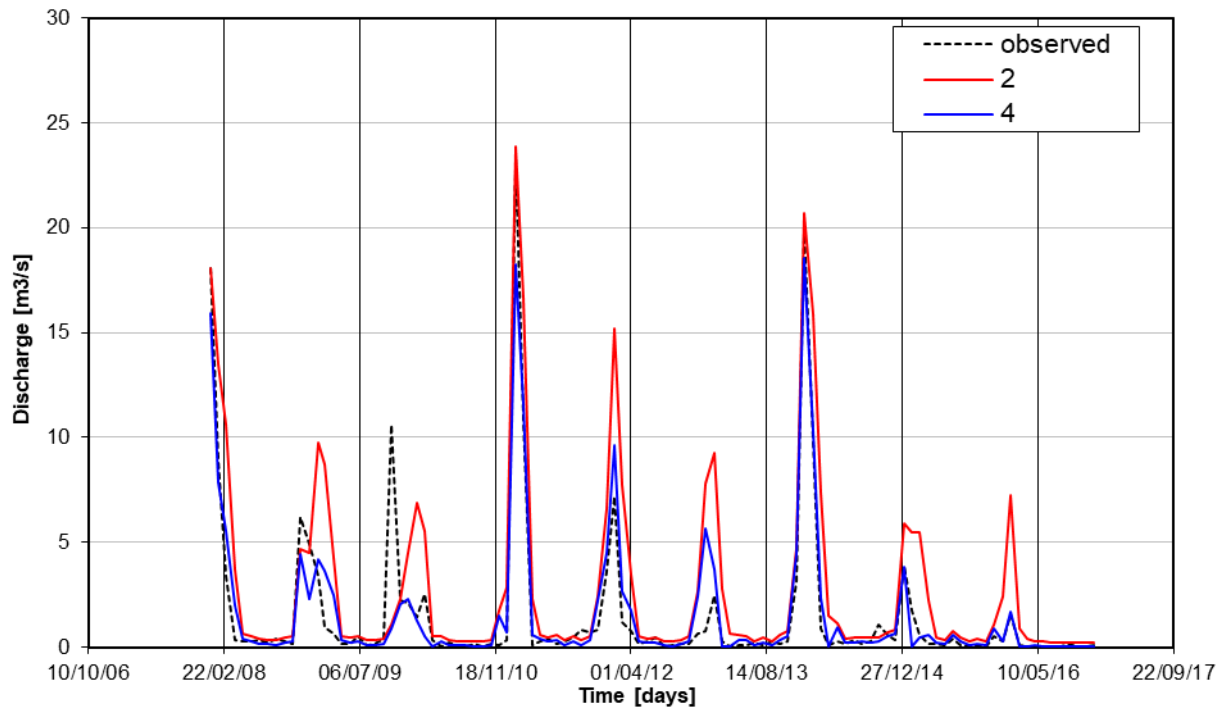


Grafico 3 modelo calibrado

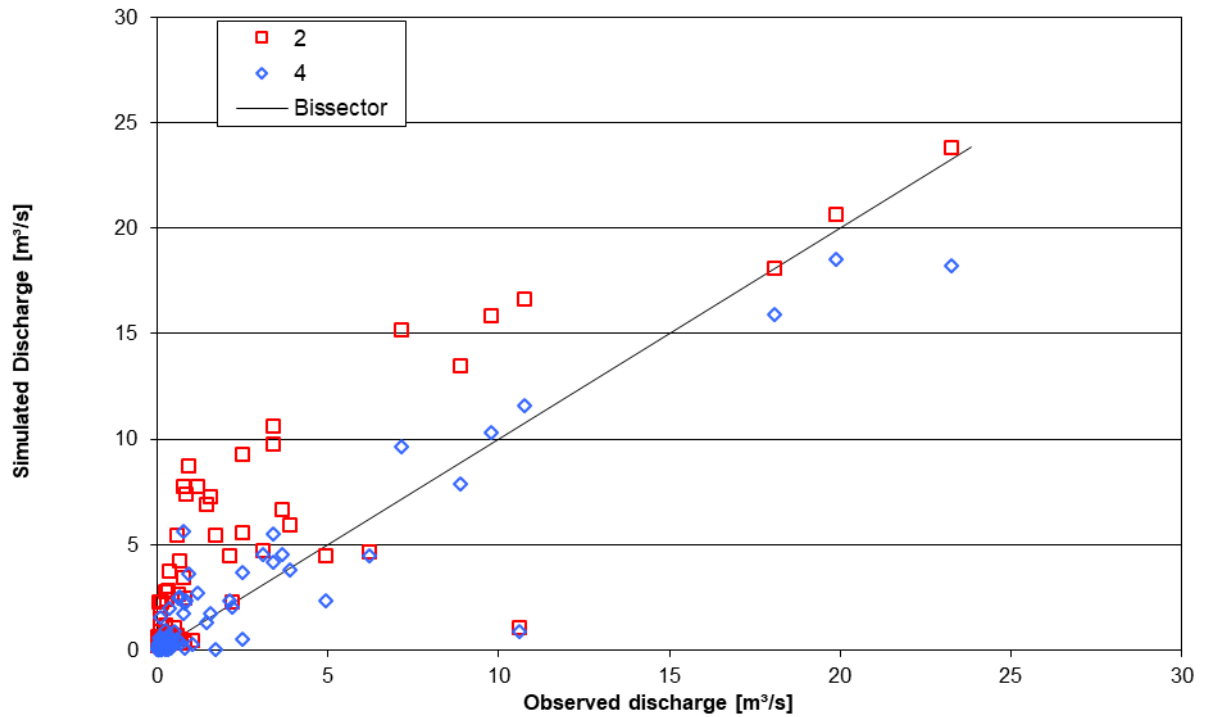


Grafico 4 caudales simulados Vs. Observados

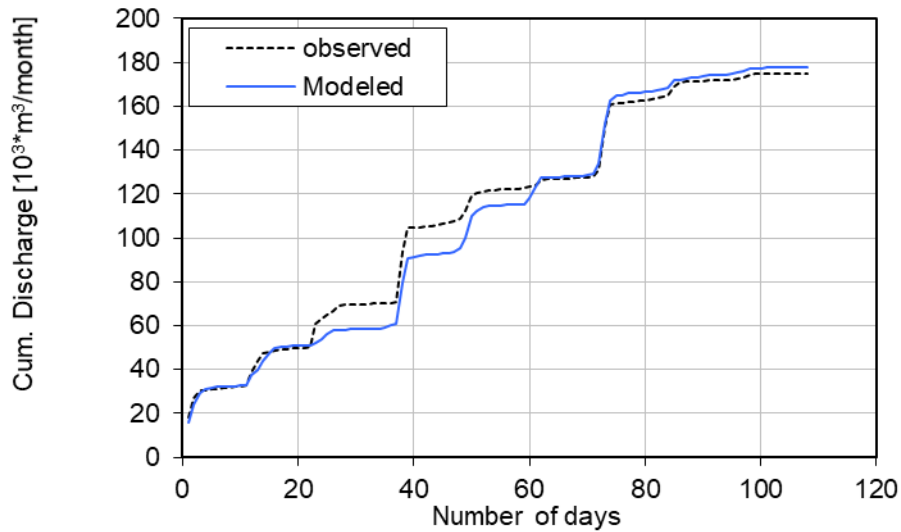


Grafico 5 caudal calibrado acumulado en Mm3/mes

Como se puede observar el caudal observado y simulado tienen patrones de similitud en sus picos, también podemos ver que en la gráfica de caudal acumulado se aproxima a los valores.

4.2. Cambio climático

Si bien se tiene los valores asumidos del RCP 8.5 estos son los más pesimista y esto es lo que se quiere mostrar ya que se tienen cambios muy notables en esta zona las cuales se pudo ver en la gestión 2016 y 2017, estos tuvieron descensos en el almacenamiento de la angostura hasta llegar a niveles críticos, podemos analizar algunos meses y vemos que se tiene cambios importantes en la precipitación y el aumento en la temperatura que conllevara a una mayor evapotranspiración.

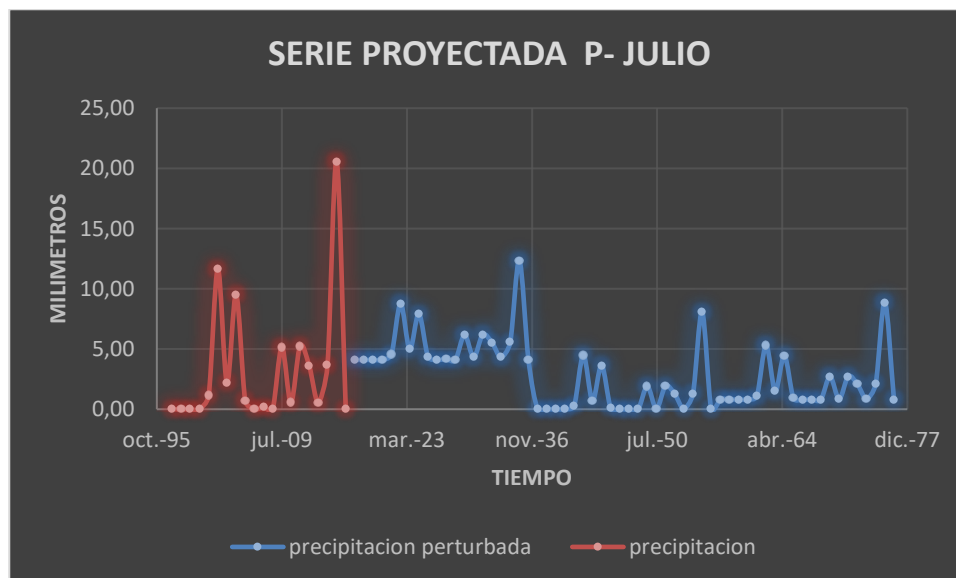


Grafico 6 precipitación proyectada.

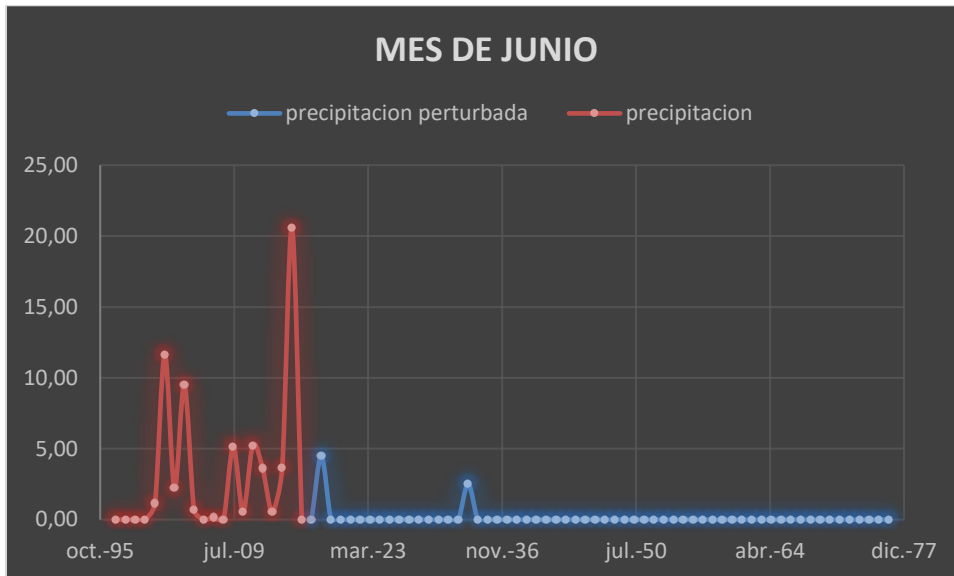


Grafico 7 precipitación proyectada.

El aumento de temperatura sumado a la los precipitaciones que sufrirán alteraciones en su ciclo generara que muchas presas, obras de toma y atajados tengan déficit hídrico generando problemas en su operación y mantenimiento de los mismos.

5. Conclusiones

El presente trabajo se concluye que el balance hídrico realizado muestra la oferta hídrica que se ve afectada en el tiempo con la gran demanda que se tiene y que va en aumento la cual generara problemas al no ser planificada.

En cuanto al cambio climático se notan que en los meses de junio hasta octubre los cambios son notables concluimos que se debe planificar los proyectos de riego ya que estos en su mayoría generan cambios los cuales afectan a otros sectores en el caso de la cuenca del valle alto afecta directamente a los regantes que están aguas abajo del cuerpo de agua, recibiendo menos agua y bajando su producción, además de esto la sobre explotación de agua subterránea es algo que deben pensar a futuro ya que la demanda es mayor a la oferta de estos reservorios.

6. Recomendaciones

Se recomienda Realizar un estudio más afondo sobre la demanda hídrica la cual mediante un inventario de presas actualizado y de obras de riego se pueda determinar la demanda efectiva y también se analice si existen embalses para consumo humano los cuales deberán ser analizados con las fuentes de agua subterránea obteniendo la demanda real del sistema.

También se recomienda que las instituciones involucradas demarquen los límites de la laguna Angostura o también llamada presa México, esto con el fin de evitar asentamientos y desgracias en eventos extraordinarios de precipitaciones.

7. Referencias Bibliográficas

- Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. (4 de 2009). *Stockholm Environment Institute*. Obtenido de www.WEAP21.org
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2016). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE BALANCES HÍDRICOS SUPERFICIALES*. La paz: Bolivia.
- Nick Buxton, M. E. (2013). *El Cambio Climático y la Crisis del Agua en La Paz y El Alto*. LA PAZ, BOLIVIA: Stockholm Environment Institute.
- Schmidt, G. A. (27 de 7 de 2016). *National Aeronautics and Space Administration*. Obtenido de <https://www.giss.nasa.gov>
- Seiler, C. (julio de 2009). *Implementation and validation of a regional climatemodel for bolivia*. Bolivia. Stockholm Environment Institute. (2017). <http://www.weap21.org>. Obtenido de WEAP: Water Evaluation And Planning System: <http://www.weap21.org>
- Stockholm Environment Institute, Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile. (2009). *Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Obtenido de www.weap21.org

Anexos

Anexo 1. Precipitaciones proyectadas embalse presa México

<u>PRECIPITACION</u>												
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2016									0.00	0.00	57.75	68.83
2017	110.76	118.96	79.52	29.84	7.83	0.00	4.10	0.00	0.00	2.33	35.73	40.26
2018	79.38	91.18	44.51	31.17	6.81	4.46	4.10	0.00	0.00	21.39	47.12	53.18
2019	102.34	104.46	103.04	24.71	6.86	0.00	4.10	0.00	6.30	3.21	35.95	57.21
2020	126.00	87.20	61.75	22.75	6.93	0.00	4.10	0.00	0.00	5.45	28.33	85.04
2021	158.13	126.40	66.02	25.00	11.66	0.00	4.56	0.94	0.00	6.26	29.65	70.34
2022	87.54	111.91	54.29	34.33	7.45	0.00	8.75	0.00	0.00	7.58	37.71	43.48
2023	129.73	96.52	61.77	24.34	7.45	0.00	4.98	0.00	0.00	9.44	26.06	108.22
2024	131.07	106.48	42.50	31.02	8.21	0.00	7.91	0.00	0.00	0.00	43.42	56.12
2025	119.50	119.69	36.06	34.41	6.88	0.00	4.38	0.00	0.00	4.73	56.31	69.60
2026	144.53	96.27	81.45	35.27	6.87	0.00	4.10	0.00	0.00	7.11	39.68	66.25
2027	106.75	104.87	53.95	32.47	7.74	0.00	4.16	0.00	0.00	2.22	48.43	85.41
2028	146.91	96.65	62.96	34.28	7.16	0.00	4.10	0.00	0.00	8.68	33.39	95.17
2029	95.21	107.01	65.75	38.92	7.04	0.00	6.15	0.00	0.00	6.02	49.47	67.11
2030	105.12	98.29	58.72	22.46	8.34	0.00	4.32	0.00	0.00	3.60	29.86	76.57
2031	97.07	154.30	73.20	27.25	6.98	0.00	6.19	0.00	0.00	1.01	36.25	76.53
2032	116.28	118.76	56.41	35.29	6.87	0.00	5.54	0.00	0.00	5.42	36.49	79.32
2033	120.11	98.77	41.65	24.08	9.57	2.52	4.30	0.00	0.00	14.97	38.40	90.78
2034	151.21	99.93	51.89	26.37	11.82	0.00	5.56	0.00	0.00	8.30	38.30	50.35
2035	126.37	88.41	59.79	33.88	7.19	0.00	12.33	0.00	0.00	6.81	27.03	63.86
2036	98.75	109.63	32.47	23.27	6.81	0.00	4.10	0.00	3.46	0.00	20.79	16.33
2037	145.14	77.07	60.19	37.72	15.97	0.00	0.00	0.51	3.46	0.00	0.00	0.00
2038	113.76	49.29	25.18	39.05	14.95	0.00	0.00	0.51	3.46	18.32	10.16	0.68
2039	136.72	62.57	83.71	32.59	15.00	0.00	0.00	0.51	9.76	0.14	0.00	4.71
2040	160.38	45.31	42.42	30.63	15.07	0.00	0.00	0.51	3.46	2.38	0.00	32.54
2041	192.51	84.51	46.69	32.88	19.80	0.00	0.29	1.45	3.46	3.19	0.00	17.84
2042	121.92	70.02	34.96	42.21	15.59	0.00	4.48	0.51	3.46	4.51	0.75	0.00
2043	164.11	54.63	42.44	32.22	15.59	0.00	0.71	0.51	3.46	6.37	0.00	55.72
2044	165.45	64.59	23.17	38.90	16.35	0.00	3.64	0.51	3.46	0.00	6.46	3.62
2045	153.88	77.80	16.73	42.29	15.02	0.00	0.11	0.51	3.46	1.66	19.35	17.10
2046	178.91	54.38	62.12	43.15	15.01	0.00	0.00	0.51	3.46	4.04	2.72	13.75
2047	141.13	62.98	34.62	40.35	15.88	0.00	0.00	0.51	3.46	0.00	11.47	32.91
2048	181.29	54.76	43.63	42.16	15.30	0.00	0.00	0.51	3.46	5.61	0.00	42.67
2049	129.59	65.12	46.42	46.80	15.18	0.00	1.88	0.51	3.46	2.95	12.51	14.61

2050	139.50	56.40	39.39	30.34	16.48	0.00	0.05	0.51	3.46	0.53	0.00	24.07
2051	131.45	112.41	53.87	35.13	15.12	0.00	1.92	0.51	3.46	0.00	0.00	24.03
2052	150.66	76.87	37.08	43.17	15.01	0.00	1.27	0.51	3.46	2.35	0.00	26.82
2053	154.49	56.88	22.32	31.96	17.71	0.00	0.03	0.51	3.46	11.90	1.44	38.28
2054	185.59	58.04	32.56	34.25	19.96	0.00	1.29	0.51	3.46	5.23	1.34	0.00
2055	160.75	46.52	40.46	41.76	15.33	0.00	8.06	0.51	3.46	3.74	0.00	11.36
2056	133.13	67.74	13.14	31.15	14.95	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	9.19	0.00
2057	175.49	88.03	96.73	28.77	13.54	0.00	0.81	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00
2058	144.11	60.25	61.72	30.10	12.52	0.00	0.81	5.61	0.00	14.85	0.00	0.00
2059	167.07	73.53	120.25	23.64	12.57	0.00	0.81	5.61	4.94	0.00	0.00	0.00
2060	190.73	56.27	78.96	21.68	12.64	0.00	0.81	5.61	0.00	0.00	0.00	11.30
2061	222.86	95.47	83.23	23.93	17.37	0.00	1.10	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00
2062	152.27	80.98	71.50	33.26	13.16	0.00	5.29	5.61	0.00	1.04	0.00	0.00
2063	194.46	65.59	78.98	23.27	13.16	0.00	1.52	5.61	0.00	2.90	0.00	34.48
2064	195.80	75.55	59.71	29.95	13.92	0.00	4.45	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00
2065	184.23	88.76	53.27	33.34	12.59	0.00	0.92	5.61	0.00	0.00	7.75	0.00
2066	209.26	65.34	98.66	34.20	12.58	0.00	0.81	5.61	0.00	0.57	0.00	0.00
2067	171.48	73.94	71.16	31.40	13.45	0.00	0.81	5.61	0.00	0.00	0.00	11.67
2068	211.64	65.72	80.17	33.21	12.87	0.00	0.81	5.61	0.00	2.14	0.00	21.43
2069	159.94	76.08	82.96	37.85	12.75	0.00	2.69	5.61	0.00	0.00	0.91	0.00
2070	169.85	67.36	75.93	21.39	14.05	0.00	0.86	5.61	0.00	0.00	0.00	2.83
2071	161.80	123.37	90.41	26.18	12.69	0.00	2.73	5.61	0.00	0.00	0.00	2.79
2072	181.01	87.83	73.62	34.22	12.58	0.00	2.08	5.61	0.00	0.00	0.00	5.58
2073	184.84	67.84	58.86	23.01	15.28	0.00	0.84	5.61	0.00	8.43	0.00	17.04
2074	215.94	69.00	69.10	25.30	17.53	0.00	2.10	5.61	0.00	1.76	0.00	0.00
2075	191.10	57.48	77.00	32.81	12.90	0.00	8.87	5.61	0.00	0.27	0.00	0.00
2076	163.48	78.70	49.68	22.20	12.52	0.00	0.81	5.61				

TEMPERATURA												
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2016									8.31	9.18	8.89	8.98
2017	8.672	8.27	8.148	7.944	7.64	6.974	7.094	7.938	8.668	9.246	9.446	10.03
2018	9.848	9.154	9.444	8.856	7.66	7.23	7.074	8.21	8.48	8.942	9.098	9.468
2019	8.776	8.722	8.348	8.276	7.896	6.646	6.85	7.874	8.204	8.874	8.95	9.36
2020	8.904	8.486	8.728	8.532	8.064	6.714	6.394	8.014	8.688	9.094	9.122	9.008
2021	8.256	8.538	8.444	8.368	7.832	6.802	6.842	7.726	8.612	9.166	9.758	9.16
2022	9.232	8.85	8.856	8.528	8.112	7.21	6.594	7.954	8.528	8.958	9.262	9.74
2023	8.804	9.134	8.632	8.444	7.94	7.026	6.926	7.85	8.304	9.166	9.562	9.204
2024	8.412	8.458	8.636	8.672	7.52	6.674	6.802	7.694	8.316	9.042	9.182	9.472
2025	8.86	8.342	8.984	8.32	7.584	6.778	6.99	7.806	8.108	8.834	8.882	9.12

2026	8.18	8.798	8.732	8.172	7.416	7.01	6.846	7.942	8.208	9.29	9.266	9.452
2027	9.112	8.682	8.528	8.408	7.812	7.13	6.706	7.962	8.288	8.882	8.954	8.728
2028	8.144	8.498	8.312	8.012	7.304	6.862	6.778	7.95	8.312	8.95	9.37	8.912
2029	8.44	8.486	8.46	8.032	7.996	6.614	7.046	7.83	8.488	9.142	9.45	9.424
2030	8.956	9.03	9.06	8.52	8.432	7.602	7.198	8.302	8.672	9.042	9.194	9.476
2031	9.032	8.21	8.436	8.32	8.08	7.294	7.078	8.118	8.152	9.034	9.194	9.156
2032	8.82	8.478	8.28	8.076	7.776	7.19	6.906	7.674	8.344	8.966	9.21	9.052
2033	8.528	8.518	8.832	8.088	8.3	6.934	7.234	7.466	8.2	8.91	9.058	9.068
2034	8.684	8.542	8.536	8.58	7.984	7.33	7.082	8.098	8.332	8.898	9.346	9.2
2035	8.364	8.49	8.648	8.252	7.936	7.306	7.338	7.906	8.652	9.258	9.246	9.336
2036	9.184	9.118	9.38	8.9	8.204	7.378	7.33	7.894	9.322	10.45	9.98	9.904
2037	9.552	9.21	8.978	8.684	8.24	7.864	7.954	8.858	9.678	10.52	10.54	10.95
2038	10.73	10.09	10.27	9.596	8.26	8.12	7.934	9.13	9.49	10.21	10.19	10.39
2039	9.656	9.662	9.178	9.016	8.496	7.536	7.71	8.794	9.214	10.14	10.04	10.28
2040	9.784	9.426	9.558	9.272	8.664	7.604	7.254	8.934	9.698	10.36	10.21	9.928
2041	9.136	9.478	9.274	9.108	8.432	7.692	7.702	8.646	9.622	10.44	10.85	10.08
2042	10.11	9.79	9.686	9.268	8.712	8.1	7.454	8.874	9.538	10.23	10.35	10.66
2043	9.684	10.07	9.462	9.184	8.54	7.916	7.786	8.77	9.314	10.44	10.65	10.12
2044	9.292	9.398	9.466	9.412	8.12	7.564	7.662	8.614	9.326	10.31	10.27	10.39
2045	9.74	9.282	9.814	9.06	8.184	7.668	7.85	8.726	9.118	10.1	9.972	10.04
2046	9.06	9.738	9.562	8.912	8.016	7.9	7.706	8.862	9.218	10.56	10.36	10.37
2047	9.992	9.622	9.358	9.148	8.412	8.02	7.566	8.882	9.298	10.15	10.04	9.648
2048	9.024	9.438	9.142	8.752	7.904	7.752	7.638	8.87	9.322	10.22	10.46	9.832
2049	9.32	9.426	9.29	8.772	8.596	7.504	7.906	8.75	9.498	10.41	10.54	10.34
2050	9.836	9.97	9.89	9.26	9.032	8.492	8.058	9.222	9.682	10.31	10.28	10.4
2051	9.912	9.15	9.266	9.06	8.68	8.184	7.938	9.038	9.162	10.3	10.28	10.08
2052	9.7	9.418	9.11	8.816	8.376	8.08	7.766	8.594	9.354	10.24	10.3	9.972
2053	9.408	9.458	9.662	8.828	8.9	7.824	8.094	8.386	9.21	10.18	10.15	9.988
2054	9.564	9.482	9.366	9.32	8.584	8.22	7.942	9.018	9.342	10.17	10.44	10.12
2055	9.244	9.43	9.478	8.992	8.536	8.196	8.198	8.826	9.662	10.53	10.34	10.26
2056	10.06	10.06	10.21	9.64	8.804	8.268	8.19	8.814	10.83	11.48	10.99	10.92
2057	10.53	10.15	9.848	9.534	9.17	8.714	8.824	9.828	11.19	11.55	11.55	11.97
2058	11.71	11.03	11.14	10.45	9.19	8.97	8.804	10.1	11	11.24	11.2	11.41
2059	10.64	10.6	10.05	9.866	9.426	8.386	8.58	9.764	10.72	11.17	11.05	11.3
2060	10.76	10.37	10.43	10.12	9.594	8.454	8.124	9.904	11.21	11.39	11.22	10.95
2061	10.12	10.42	10.14	9.958	9.362	8.542	8.572	9.616	11.13	11.47	11.86	11.1
2062	11.09	10.73	10.56	10.12	9.642	8.95	8.324	9.844	11.05	11.26	11.36	11.68
2063	10.66	11.01	10.33	10.03	9.47	8.766	8.656	9.74	10.82	11.47	11.66	11.14
2064	10.27	10.34	10.34	10.26	9.05	8.414	8.532	9.584	10.84	11.34	11.28	11.41
2065	10.72	10.22	10.68	9.91	9.114	8.518	8.72	9.696	10.63	11.13	10.98	11.06
2066	10.04	10.68	10.43	9.762	8.946	8.75	8.576	9.832	10.73	11.59	11.37	11.39

2067	10.97	10.56	10.23	9.998	9.342	8.87	8.436	9.852	10.81	11.18	11.05	10.67
2068	10	10.38	10.01	9.602	8.834	8.602	8.508	9.84	10.83	11.25	11.47	10.85
2069	10.3	10.37	10.16	9.622	9.526	8.354	8.776	9.72	11.01	11.44	11.55	11.36
2070	10.82	10.91	10.76	10.11	9.962	9.342	8.928	10.19	11.19	11.34	11.29	11.42
2071	10.89	10.09	10.14	9.91	9.61	9.034	8.808	10.01	10.67	11.33	11.29	11.1
2072	10.68	10.36	9.98	9.666	9.306	8.93	8.636	9.564	10.86	11.27	11.31	10.99
2073	10.39	10.4	10.53	9.678	9.83	8.674	8.964	9.356	10.72	11.21	11.16	11.01
2074	10.54	10.42	10.24	10.17	9.514	9.07	8.812	9.988	10.85	11.2	11.45	11.14
2075	10.22	10.37	10.35	9.842	9.466	9.046	9.068	9.796	11.17	11.56	11.35	11.28
2076	11.04	11	11.08	10.49	9.734	9.118	9.06	9.784				

Anexo 2 Caudales Promedios mensuales embalse presa México

Fecha	Q m ³ /seg	Fecha	Q m ³ /seg	Fecha	Q m ³ /seg
enero-08	18.0734727	marzo-11	10.7604007	mayo-14	0.27215316
febrero-08	8.86934249	abril-11	0.0816552	junio-14	0.17345509
marzo-08	3.41750504	mayo-11	0.28109233	julio-14	0.35535854
abril-08	0.34992865	junio-11	0.3731663	agosto-14	0.14241706
mayo-08	0.28839604	julio-11	0.17253181	septiembre-14	0.28333053
junio-08	0.29169833	agosto-11	0.29650419	octubre-14	1.04958423
julio-08	0.30969414	septiembre-11	0.47281671	noviembre-14	0.60653827
agosto-08	0.20586672	octubre-11	0.81289694	diciembre-14	0.32618118
septiembre-08	0.38683567	noviembre-11	0.68536329	enero-15	3.90982453
octubre-08	0.26541875	diciembre-11	0.81688157	febrero-15	1.7244732
noviembre-08	0.1692947	enero-12	3.65019445	marzo-15	0.59950531
diciembre-08	6.21165459	febrero-12	7.16619786	abril-15	0.15342839
enero-09	4.92645778	marzo-12	1.19818864	mayo-15	0.14828626
febrero-09	3.38690044	abril-12	0.76173494	junio-15	0.07611669
marzo-09	0.91822576	mayo-12	0.17091015	julio-15	0.38589981
abril-09	0.64821164	junio-12	0.2574671	agosto-15	0.09952992
mayo-09	0.16553577	julio-12	0.44109021	septiembre-15	0.04820541
junio-09	0.15612899	agosto-12	0.02416944	octubre-15	0.07051134
julio-09	0.50205766	septiembre-12	0.07755193	noviembre-15	0.0322301
agosto-09	0.08743527	octubre-12	0.16499151	diciembre-15	0.52048999
septiembre-09	0.12595534	noviembre-12	0.17631037	enero-16	0.28576483
octubre-09	0.42040579	diciembre-12	0.64099392	febrero-16	1.56755311
noviembre-09	10.5967153	enero-13	0.76827603	marzo-16	0.10600988
diciembre-09	2.21332976	febrero-13	2.49810268	abril-16	0.04427313
enero-10	2.13321519	marzo-13	0.25820429	mayo-16	0.05394713
febrero-10	1.44790507	abril-13	0.01455707	junio-16	0.04667876
marzo-10	2.52353317	mayo-13	0.07492134	julio-16	0.04286594
abril-10	0.34271639	junio-13	0.06196197	agosto-16	0.01651149
mayo-10	0	julio-13	0.21557628	septiembre-16	0.15368781
junio-10	0.20173959	agosto-13	0.09670294	octubre-16	0.01343673
julio-10	0.0937619	septiembre-13	0.27523697	noviembre-16	0.01467229
agosto-10	0.03652283	octubre-13	0.13272175	diciembre-16	0.09864133
septiembre-10	0.13732675	noviembre-13	0.2496205	enero-17	0.8306548
octubre-10	0.01979201	diciembre-13	3.12367353	febrero-17	0.1561562
noviembre-10	0.13596284	enero-14	19.8848637	marzo-17	1.84728392
diciembre-10	0.12198291	febrero-14	9.77933073	abril-17	0.87353536
enero-11	0.31631147	marzo-14	0.86587868	mayo-17	0.02705421
febrero-11	23.2585454	abril-14	0.11329	junio-17	1.08968333

Fecha	<i>Q m3/seg</i>
julio-17	0.04575114
agosto-17	0.01023092
septiembre-17	0.00362293
octubre-17	0.00791533
noviembre-17	0.0016524
diciembre-17	0.24931644