

# DINÁMICA DE CAUDALES Y CONTROL DE AGUA PARA RIEGO EN LA CUENCA PUCARA

Rígel Rocha  
Jordi Pascual  
Jorge Iriarte

---

## 1. INTRODUCCIÓN

No cabe duda que la modelación de los flujos de agua es una herramienta muy útil para el entendimiento de los procesos hidrológicos y la posterior planificación de la gestión y uso de los recursos hídricos en una cuenca. En este sentido, para el caso de la cuenca Pucara se planteó el entendimiento de la complejidad de su ciclo hidrológico, a partir del estudio de la dinámica del régimen hídrico de la cuenca en función de los procesos de intervención y control del agua para riego, teniendo en cuenta los cambios históricos en el territorio.

En el marco de las acciones implementadas en la cuenca Pucara, el Centro AGUA desarrolló anteriormente 3 estudios en esta temática. Rojas y Montenegro (2007) y Cruz (2009), realizaron el estudio de la hidrología de la cuenca Pucara, centrando sus esfuerzos en la determinación de la oferta potencial de agua de la cuenca. Posteriormente, considerando la importancia de incluir los procesos de control de agua para riego en el análisis hidrológico, Cruz (2010 y 2011) estructuró un modelo de gestión de agua de la cuenca aplicando el modelo *Mike Basin*<sup>1</sup>, posibilitando el análisis histórico del régimen hídrico de la cuenca. Si bien se lograron importantes avances con el establecimiento del modelo *Mike Basin* para la cuenca Pucara, las limitaciones en el uso del software, al ser un software especializado y costoso, limitaron su mayor desarrollo y aplicación en los procesos de planificación y gestión del agua en la cuenca.

Considerando lo anterior, sobre la base de un análisis comparativo de los modelos hidrológicos utilizados en Bolivia, se decidió utilizar el modelo *SWAT 2005*, en su interface *ArcSWAT*<sup>2</sup>, realizando la simulación hidrológica para cuatro periodos del desarrollo de la Cuenca Pucara. Se incorporaron al modelo de simulación, criterios y datos que hacen a la dinámica del control de agua para riego, resultando en el establecimiento de tres escenarios de simulación de flujos y control de agua de la cuenca. El análisis de estos escenarios permitió visualizar y contabilizar los cambios históricos de los diferentes tipos de flujo de agua en la cuenca, evidenciando el proceso de cierre que sufre la cuenca Pucara, como producto de la trayectoria desarrollada.

En la siguiente sección se discuten los conceptos centrales que orientaron el trabajo realizado. Posteriormente, en la sección 3 se describe la metodología aplicada para el establecimiento de los escenarios de simulación, para luego en la sección 4 presentar de manera ilustrativa los resultados logrados en el presente trabajo. Finalmente en la última sección se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado, poniendo especial énfasis en las lecciones aprendidas en la aplicación de la metodología.

---

<sup>1</sup> Modelo Mike Basin del DHI

<sup>2</sup> ArcSWAT versión 2.3.4 para ArcMap 9.3

## 2. DINÁMICA DE LOS FLUJOS DE AGUA EN CUENCAS ALTAMENTE INTERVENIDAS

El riego ha jugado un rol muy importante en el desarrollo de la cuenca Pucara. Considerando la elevada variabilidad e impredecibilidad (tiempo y espacio), de las precipitaciones pluviales y caudales naturales de agua en la cuenca, los pobladores han realizado una serie de intervenciones en el ciclo natural del agua, controlando los caudales de los ríos de la cuenca y trasvasando importantes caudales de agua provenientes de cuencas vecinas, con el principal objetivo de regar sus parcelas de cultivo localizadas en la parte alta (Tiraque) y baja (Punata) de la cuenca. En este contexto de cuenca altamente intervenida, los estudios y modelaciones de los flujos superficiales de agua aumentan significativamente su complejidad, por las dificultades que implica la incorporación de este tipo de procesos no-naturales de control de agua.

El estudio de los procesos hidrológicos en cuencas intervenidas requiere entender estos procesos en el marco del desarrollo de la cuenca a lo largo de la historia, es decir, entender cómo es que una cuenca ha llegado a ser como es en el presente. En este sentido, es importante desarrollar los modelos de simulación hidrológica en términos de la *trayectoria de la cuenca*, vinculando los escenarios simulados de caudales de agua con las acciones de control sociotécnico del recurso. La trayectoria de una cuenca comprende las interacciones de largo plazo entre las sociedades y su medio-ambiente, centrándose en el desarrollo y gestión del agua y sus recursos de tierra asociados (Molle, 2003).

En consecuencia, en el presente estudio, la modelación realizada incluye además de los procesos hidrológicos naturales, las acciones humanas para gestionar y usar los recursos hídricos disponibles, convirtiendo el ciclo hidrológico en un “ciclo hidrosocial” (Budds, 2012). Es en este sentido que, para la simulación hidrológica se definieron tres periodos históricos de la trayectoria de la cuenca Pucara delimitados por eventos y acciones determinantes en la concepción de los escenarios de la cuenca:

- a) **Periodo de control comunal (1953-1978)**, caracterizado por la implementación de diversas acciones, por parte de las comunidades campesinas, para mejorar antiguos embalses y construir nueva infraestructura hidráulica. Después de la reforma agraria (1953), los campesinos organizados en comunidades campesinas tomaron el control de la tierra y las fuentes de agua anteriormente en propiedad de los hacendados. Con la distribución de tierras y agua se intensificó la producción agropecuaria, incrementando la demanda de agua para riego, por lo que las comunidades se vieron en la necesidad de buscar nuevas alternativas de dotación de agua para riego, siendo la construcción de embalses la opción preferida.
- b) **Periodo de intervención estatal I (1978-1992)**, caracterizado por la intervención estatal planificada de los sistemas de riego campesinos orientada al mejoramiento de la infraestructura de los antiguos sistemas. En respuesta a las múltiples demandas de incremento del suministro de agua para riego de las comunidades campesinas de la cuenca, se originó el proyecto Tiraque-Punata en el marco del PRAV<sup>3</sup>, que posibilitó entre otras cosas, el mejoramiento de 6 embalses y la construcción del embalse de mayor tamaño: Totorá Khocha.
- c) **Periodo de intervención estatal II (1992-2011)**, caracterizado por las múltiples intervenciones estatales aisladas de sistemas de riego campesinos orientadas principalmente al mejoramiento y construcción de embalses y otras obras hidráulicas.

---

<sup>3</sup> PRAV: Programa de Riego Altiplano/Valles

Así pues, la construcción y mejoramiento de las infraestructuras hidráulicas desarrolladas en la cuenca Pucara durante los últimos 60 años han permitido incrementar en más de 3 veces la oferta de agua para riego (Cáceres, 2009; Cruz, 2011; Delgadillo & Lazarte, 2007). Como resultado de este proceso histórico de control de agua para riego, la mayor parte del agua disponible ya está asignada y es aprovechada por los pobladores de la cuenca. Prácticamente, en el periodo seco (Abril-Octubre), no existe caudal natural libre de agua superficial en la cuenca, resultando en el virtual *cierre temporal de la cuenca*. El *cierre de la cuenca* es un proceso donde la sustracción de agua para propósitos humanos se aproxima o excede la cantidad de agua disponible renovable (Molle et al., 2007; Seckler, 1996). Mientras la cuenca se aproxima al cierre, no existe la posibilidad de capturar y asignar “*agua nueva*”, la gente llega a ser cada vez más dependiente de los escasos recursos disponibles y la competencia por el recurso se intensifica. Este hecho, requiere que la simulación hidrológica diferencie los flujos de agua de la cuenca cuantificando las proporciones de flujos de agua disponibles y comprometidos.

### 3. METODOLOGÍA

Considerando que existe una amplia diversidad de modelos para simular la hidrología de una cuenca, previamente al inicio del estudio, se realizó un exhaustivo análisis comparativo de los modelos aplicables a las condiciones de la zona y que son mayormente utilizados en el contexto boliviano. De acuerdo a Iriarte (2012), los modelos de hidrología superficial que más se aplican en Bolivia son: CHAC SIMULA (TEMEZ), HEC-HMS, MIKE (MIKE BASIN, MIKE 11, MIKE SHE), SWAT y WEAP.

Primeramente se descartó el uso de los modelos MIKE debido al alto costo de adquisición de su licencia, aspecto que limita la aplicación de este tipo de modelos en cuencas Bolivianas. El modelo WEAP reúne varias de las condiciones requeridas, pero su escasa difusión en el contexto boliviano limitó su aplicación. El modelo HEC-HMS fue descartado, pese a ser un modelo hidrológico muy aceptado en el sector y permitir una simulación continua, debido a que su diseño está orientado principalmente al cálculo de eventos extremos, alejándose del objeto de estudio. Así la elección quedó entre el CHAC-SIMULA y el SWAT. Mientras que el primero es un modelo conceptual y agregado, el segundo es determinista y semi-distribuido, habiéndose optado por el SWAT, debido a que la disponibilidad de datos en la cuenca (datos de climatología y suelos disponibles, y poca información de caudales de los ríos) permite un mejor ajuste del modelo.

El modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), fue desarrollado por el Servicio Agrícola de Investigación (ARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). El modelo permite usar un paso de tiempo diario y es semi-distribuido espacialmente, a partir de la definición de Unidades de Respuesta Hídrica (HRU, por sus siglas en inglés), que son las unidades computacionales usadas por el modelo, consideradas homogéneas en cuanto a pendiente del terreno, tipo de suelo y uso del suelo. Para el desarrollo del presente estudio se utilizó el Modelo SWAT 2005, en su interface ArcSWAT, en el entorno ArcGIS 9.3.

El análisis de la dinámica de los caudales y control de agua en los tres períodos de la trayectoria de la cuenca Pucara, requirió el establecimiento de 3 escenarios relacionados correspondientes a cada periodo (1953-1978; 1978-1992; y 1992-2011). En consecuencia, los datos ingresados al ArcSWAT variaron para cada uno de los periodos de simulación. La metodología general seguida incluyó el desarrollo de 6 etapas: recolección de datos, preparación de datos, definición de escenarios, simulación inicial, calibración y procesamiento final de resultados. La Figura 3.1 ilustra el desarrollo de las 5 etapas antes mencionadas.

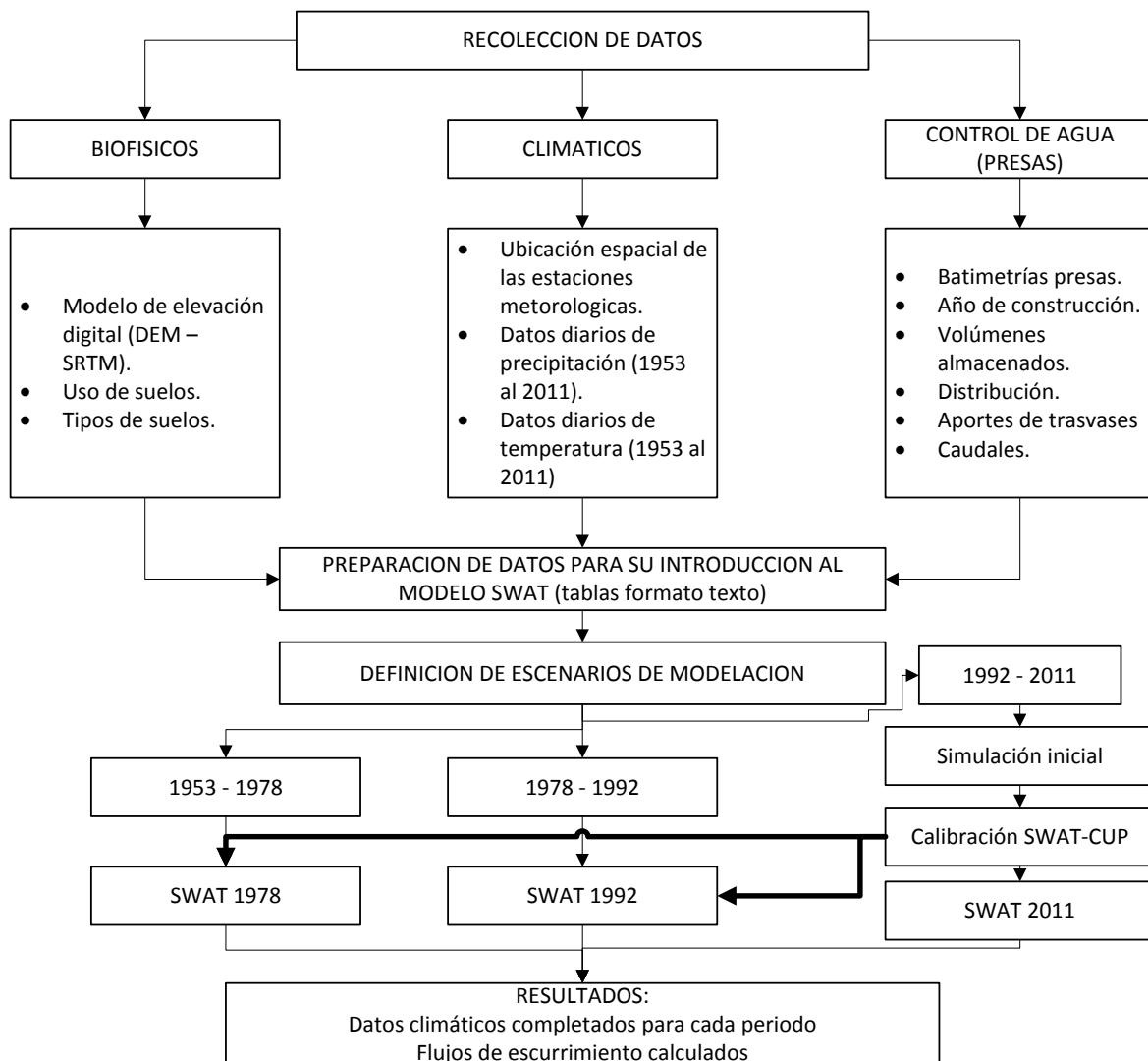


Figura 3.1. Esquema de la metodología aplicada

### 3.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos se recurrió principalmente a la Base de Datos de la Cuenca Pucara gestionada por el Centro AGUA. Para cada uno de los 3 periodos de estudio, se recolectaron 3 tipos de datos:

**a) Datos Biofísicos:**

- Modelo de elevación digital; procesado sobre la base de imágenes de la misión topográfica de radar (SRTM) con resolución de 90 metros.
- Mapa de uso de suelos; a partir de la reclasificación del mapa de zonas de producción dominantes (ZSPDs), elaborados por Rocha y Mayta (2007), y Mayta y Alfaro (2009).

- Mapa de tipo de suelo; extractado del estudio de zonificación agroecológica realizado por Paredes (2003), el cual fue reclasificado de acuerdo a las unidades requeridas por el SWAT (unidades taxonómicas).
- b) **Datos climáticos:** Se recolectaron datos diarios de precipitación y temperatura (máximas y mínimas) para el periodo 1953 - 2011. Cabe mencionar que en las primeras décadas no existen series completas de datos, por lo que fueron completados por el modelo a través del generador climático.
- c) **Datos de control de agua:**
- Datos de volúmenes de agua de los embalses; a partir de la información del inventario nacional de presas (PROAGRO, 2010) y el estudio de gestión de sistemas de riego de la cuenca Pucara (Cáceres, 2009).
  - Datos de uso de agua del río; sobre la base de los datos de caudales históricos de las tomas de Toralapa y Millu Mayu, extractados de la base de datos de la cuenca Pucara.

## 3.2 Preparación de datos

La preparación e ingreso de datos para el modelo SWAT se realizó por distintas vías, en función de la información de entrada. Así, los datos biofísicos fueron ingresados usando ArcGIS como interface de entrada, y sus principales características fueron definidas (o modificadas) en la base de datos de SWAT a través de Microsoft Access. El resto de información, que en general son series temporales de datos (climáticos, control de agua, etc.), fueron ingresados a través de archivos de texto (.txt) de formato definido. Así, por un lado se prepararon las capas de información biofísica para ser introducidas en el modelo, definiendo algunas de sus características en la base de datos asociada, y por otro se prepararon las series temporales de datos de acuerdo al formato requerido por el modelo SWAT, mencionado en el documento de soporte del programa (Arnold et al., 2011).

Como es habitual, las series climáticas no estaban completas al 100%, por lo que los datos faltantes fueron rellenados por el generador climático incluido en el programa. Para el correcto funcionamiento de dicho generador se calcularon un conjunto de parámetros estadísticos (medias, desviaciones estándar y otros) a partir de datos disponibles en cada una de las estaciones climáticas.

## 3.3 Definición de escenarios

La definición de los 3 escenarios se realizó en función del proceso de intervención y control de agua en la cuenca. Considerando la dinámica de la construcción y mejoramiento de la infraestructura de control hidráulico (embalses) a lo largo de los tres periodos, se estableció inicialmente el modelo para el tercer periodo (1992 al 2011), considerando el escenario para el último año del periodo (2011), en el cual la totalidad de los embalses existentes ya se encuentran desarrollados. A partir de este escenario, se modificaron las características de los embalses en términos del año de construcción y la variación de su capacidad de almacenamiento, llegando a constituir los otros dos escenarios (1978 y 1992) correspondientes a los dos periodos restantes.

## 3.4 Simulación inicial

Una vez definidos los escenarios se procedió a ingresar los datos al modelo inicial (1992-2011), para luego realizar la primera corrida del modelo. Esta primera corrida se realizó con el propósito de verificar la existencia de errores durante el cargado de datos, y para analizar de manera preliminar, la coherencia de los caudales superficiales de salida.

### 3.5 Calibración

Considerando que se disponen de muy pocos datos hidrométricos, el proceso de calibración se realizó con datos de caudales obtenidos del modelo de gestión de agua de la cuenca Pucara, desarrollado en MIKE BASIN (Cruz, 2011). El proceso de calibración se desarrolló con el software SWAT-CUP, con el algoritmo SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*). Los valores estadísticos resultantes de la calibración para el periodo 1992 a 2011 se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores estadísticos resultantes de la calibración del modelo para la Cuenca Pucara.

Parámetro estadístico	Sesgo porcentual (PBIAS)	Nash –Sutcliffe (NSE)	RMSE-Desv. Estandar (RSR)
Periodo 1992 - 2011	-35.8	0.75	0.50
Interpretación según Moriasi et. al. (2007)	No satisfactorio	Bueno	Bueno

Los parámetros NSE y RSR son aceptables, sin embargo el PBIAS se encuentra fuera de los rangos de aceptación, lo cual indica que la tendencia de los datos simulados es menor o mayor que la de los datos observados. Sin embargo, considerando las limitaciones de los datos observados reales, este parámetro es aceptable como una primera aproximación (se considera satisfactorio a partir de -25). El hecho de no contar con los suficientes datos de caudales medidos para realizar la calibración, se constituye en una importante limitante del estudio, por lo que los resultados del modelo deben usarse como tendencias de respuesta de la cuenca más que como valores precisos, debido a la incertidumbre asociada.

### 3.5 Procesamiento final de resultados

Una vez calibrado el modelo inicial, se procedió a establecer los otros dos modelos para los periodos 1953-1978 y 1978-1992, llegando finalmente a generar los tres escenarios de análisis con sus respectivos flujos de escurrimiento calculados. Se debe tener en cuenta la falta de precisión de los datos obtenidos, y entender estos como tendencias y no como datos simulados reales.

## 4. MODELANDO LA DINÁMICA DE LA TRAYECTORIA DE LA CUENCA PUCARA

Tal como se mencionó anteriormente, la cuenca Pucara tiene una larga historia de desarrollo del riego. A lo largo del tiempo, los pobladores de la cuenca han realizado diversos tipos de intervenciones en el ciclo hidrológico, llegando a controlar importantes caudales de agua para regar sus cultivos. El análisis histórico de esta serie de interacciones hombre-tecnología-agua, permitió diferenciar tres periodos en la trayectoria de la cuenca Pucara, llegando a estructurar un modelo con tres escenarios de flujo y control de agua superficial.

Cabe notar que el modelo incluye los caudales de agua trasvasados de cuencas vecinas que ingresan a la cuenca Pucara para alimentar embalses localizados en esta, además de los caudales de agua de embalses localizados fuera de la cuenca que ingresan sus aguas para riego en la cuenca. La Figura 3.2 ilustra el esquema del modelo inicial estructurado, donde se pueden observar los puntos de entrada (inlets) y salida (outlets) de agua de la cuenca para el periodo 1992-2011.



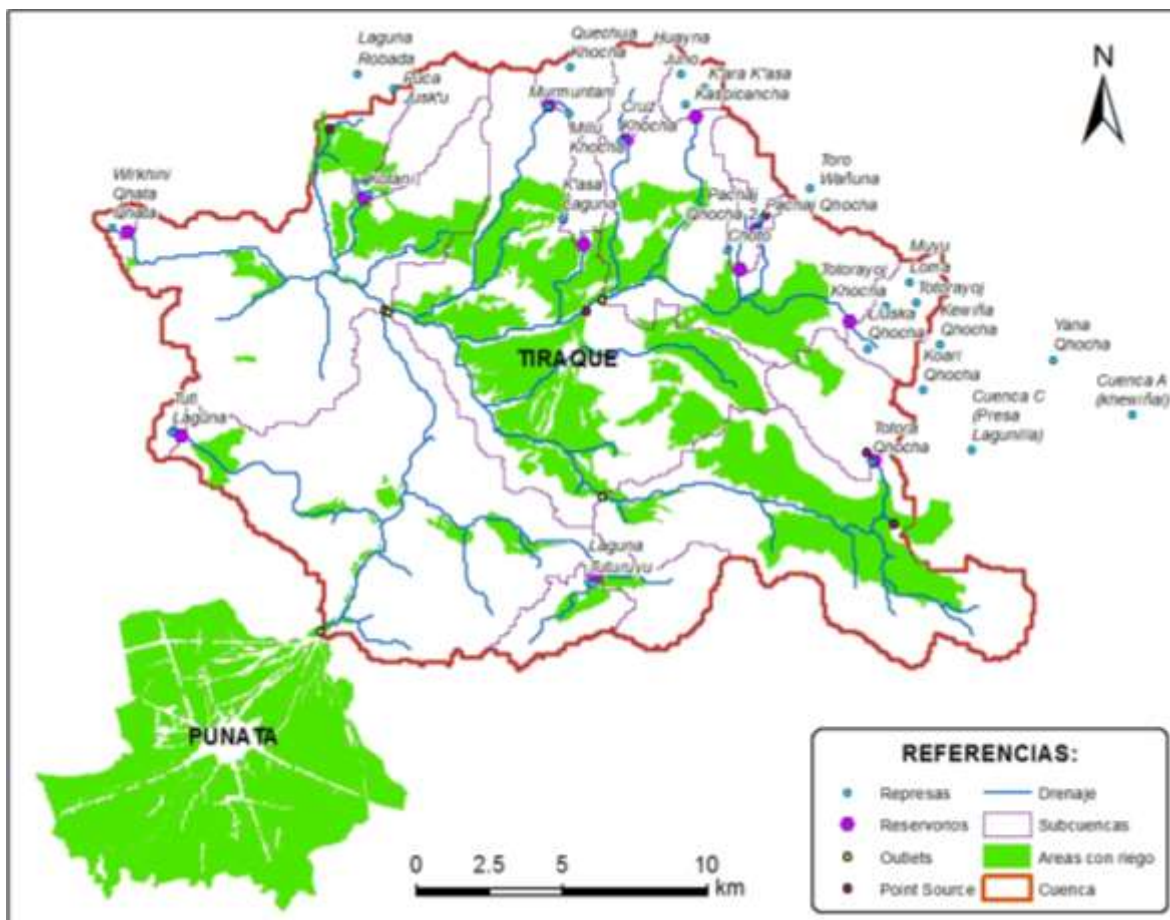


Figura 3.2. Mapa esquemático del modelo SWAT estructurado en la cuenca para el periodo 1992-2011

A manera de ejemplo, en las siguientes secciones se describen los resultados hallados a partir de la modelación de los escenarios de flujo y control de agua para cada uno de los periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara, para luego analizar dichos escenarios en el marco del proceso de cierre que sufre la cuenca.

#### 4.1 Periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara

La contabilización de la dinámica de los caudales que fluyen en la cuenca, permite diferenciar claramente los tres periodos identificados. La tabla 3.2 sintetiza la contabilización de los diferentes caudales para cada uno de los periodos. En términos de ingresos de agua, se puede ver que los ingresos de agua por precipitación pluvial se han ido incrementando con el tiempo, registrándose un incremento de 17.3 hm<sup>3</sup>/año del primer al segundo periodo, y de 1.1 hm<sup>3</sup>/año del segundo al tercer periodo. No obstante, la cantidad de agua ingresada a la cuenca por trasvases se ha incrementado de 1.9 a 10.1 hm<sup>3</sup>/año en todo el periodo de estudio, producto principalmente de las intervenciones promovidas por el estado.

Por el lado de las salidas (y/o uso) de agua, el caudal de agua controlado para riego en la cuenca se ha incrementado en 360%, lo que ha resultado en una disminución del volumen anual de agua de escorrentía que sale de la cuenca hidrográfica entre el segundo y tercer periodo, de 45.7 a 44.0 hm<sup>3</sup>/año, pese al incremento del ingreso de agua (precipitación y trasvases). Cabe mencionar que alrededor del 14% del caudal total anual que sale de la cuenca corresponde al agua de riego

comprometida a los regantes de Punata y que es utilizado con mayor intensidad en la época de estiaje (Abril-Octubre). Considerando que menos del 10% del total de agua que fluye en la cuenca se registra en la época de estiaje, la reducción del caudal de salida afecta seriamente a los sistemas de riego que dependen del río Pucara en Punata.

**Tabla 3.2. Etapas de la trayectoria de desarrollo de la Cuenca Pucara**

<b>Periodo</b>	<b>Periodo de control comunal (1953-1978)</b>	<b>Periodo de intervención estatal I (1978-1992)</b>	<b>Periodo de intervención estatal II (1992-2011)</b>
Caudal de ingreso por Precipitación (hm <sup>3</sup> /año)	213,3	230,6	231,7
Caudal de ingreso por Traslase (hm <sup>3</sup> /año)	1,9	10,1	10,1
Caudal controlado para riego (hm <sup>3</sup> /año)	5,9	19,3	21,4
Caudal consumido: evaporación, infiltración, percolación y otros (hm <sup>3</sup> /año)	172,2	175,8	176,5
Caudal de salida cuenca hidrográfica (hm <sup>3</sup> /año)	37,1	45,7	44,0
Caudal de salida comprometido Punata (hm <sup>3</sup> /año)	5,2	6,4	6,2
Caudal de salida libre (hm <sup>3</sup> /año)	31,9	39,2	37,8

A continuación se describen brevemente las principales acciones de control de agua en los tres periodos estudiados:

**a) Periodo de control comunal (1953-1978):**

En este periodo las comunidades campesinas, por acción propia y con el apoyo técnico y financiero de agencias gubernamentales, lograron controlar y mejorar un total de 7 embalses, que junto con los sistemas de río, lograron captar un total de 5,9 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 1.15 hm<sup>3</sup>/año correspondían al embalse Laguna Robada, que trasvasa agua desde la zona de Aguirre para el riego de tierras en Punata.

**b) Periodo de intervención estatal I (1978-1992)**

A partir de la intervención del PRAV y el desarrollo del proyecto Tiraque-Punata se realizó el mejoramiento de 6 embalses antiguos y la construcción del embalse de mayor tamaño: Totorá Khocha (construido sobre un embalse antiguo). Sumando el mejoramiento de otros 8 embalses pequeños en forma aislada, hasta 1992 se establecieron un total de 14 embalses. La cantidad de agua controlada para riego en este periodo se incrementó a 19.3 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 10.1 hm<sup>3</sup>/año correspondían a trasvases de agua de 5 embalses. Cabe mencionar que el embalse Totorá Khocha fue diseñado y construido con una capacidad de 22 hm<sup>3</sup>, pero sin embargo simplemente logró almacenar un promedio de 6.1 hm<sup>3</sup>/año.

**c) Periodo de intervención estatal II (1992-2011)**

En este periodo, a partir de múltiples intervenciones estatales aisladas, se mejoraron otros 10 embalses, haciendo un total de 24 embalses establecidos. En total se logró controlar para riego 21.4 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 10.1 hm<sup>3</sup>/año (47%) correspondían a trasvases de cuencas vecinas. Producto de las múltiples intervenciones, el caudal de agua de escorrentía que sale de la cuenca disminuyó de 45.7 a 44 hm<sup>3</sup>/año, registrando una disminución de 1.7 hm<sup>3</sup>/año.



## 4.2 El proceso de cierre de la cuenca Pucara

Como resultado de la trayectoria descrita en la anterior sección, la cuenca Pucara se encuentra en proceso de cierre pese al significativo incremento de agua trasvasada a la cuenca. Analizando la figura 3.3, se puede apreciar que si bien la cantidad de agua controlada se ha triplicado en el periodo de estudio, únicamente se ha logrado controlar el 33% del total de agua que fluye superficialmente en la cuenca. Cabe mencionar que el 16% corresponde al agua trasvasada de cuencas vecinas.

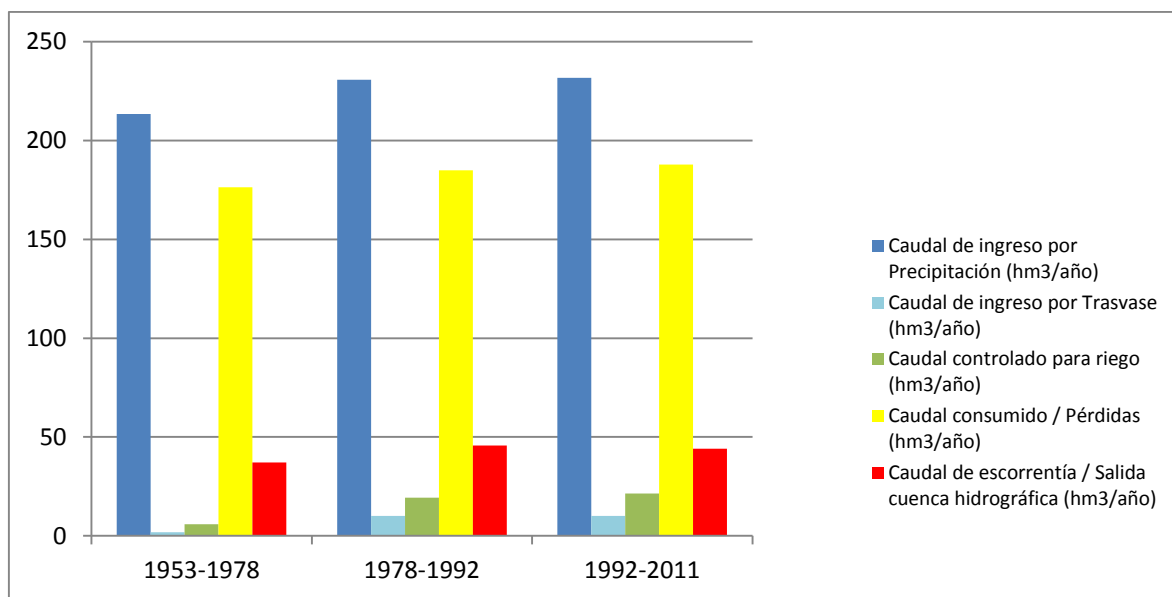


Figura 3.3. Dinámica de caudales de agua en tres periodos de la trayectoria de la cuenca Pucara

Sin embargo, analizando la dinámica anual de los caudales de agua en la cuenca, se puede observar que el 89,6% de la cantidad de agua de escorrentía que sale de la cuenca, corresponde a los flujos de agua registrados entre Noviembre y Marzo (5 meses). En la Figura 3.4 se observa la dinámica anual de los flujos de agua libre que salen de la cuenca en el tercer periodo. Entre Abril y Octubre todo el caudal de agua que sale de la cuenca es aprovechado para riego en Punata, por lo que, prácticamente, en estos 7 meses la cuenca está cerrada y no hay flujo de agua superficial que no sea utilizado en la cuenca. Este hecho, sumado con la creciente demanda de agua para riego en la parte alta y baja de la cuenca, hace que se ejerza una fuerte presión sobre los recursos hídricos disponibles, por lo que cualquier nueva acción de control de agua en la cuenca resulta en afectaciones a los otros sistemas de aprovechamiento de agua y al ciclo hidrológico de la cuenca en su conjunto.

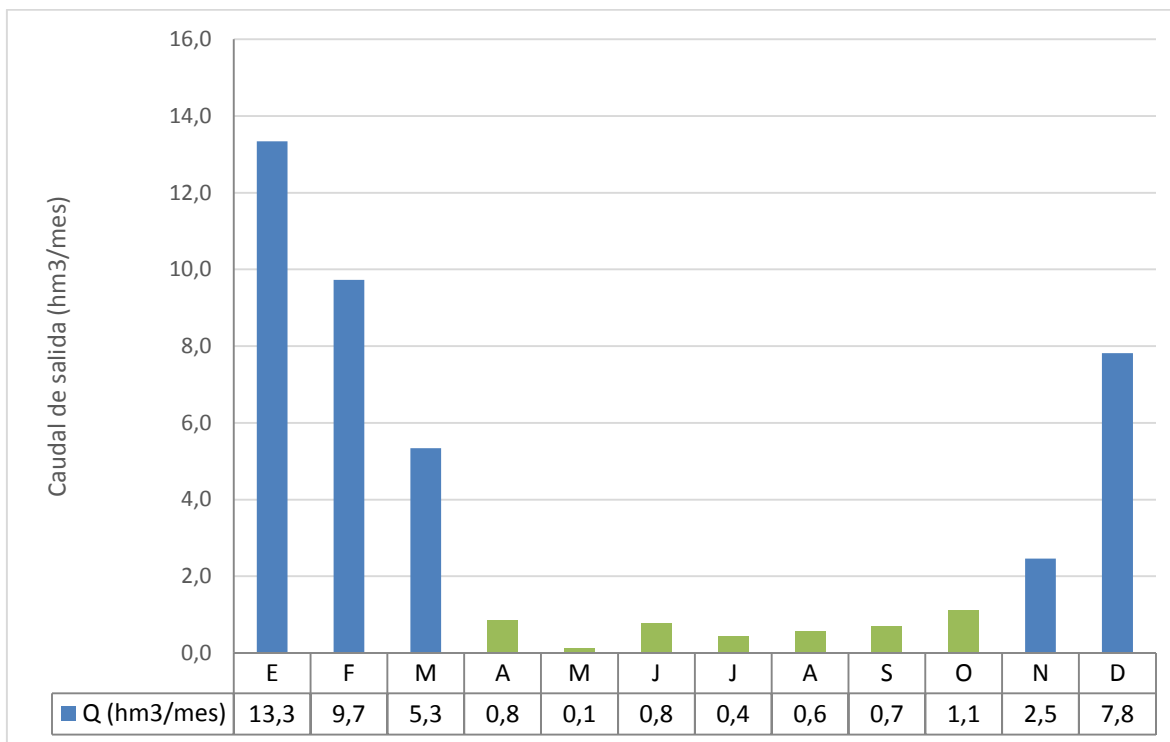


Figura 3.4. Dinámica anual de caudales de salida de agua de la cuenca Pucara para el periodo 1992-2012

De acuerdo a los lineamientos tradicionales del desarrollo hídrico, la cantidad de agua que fluye libremente y que sale de la cuenca hidrográfica (37.8 hm<sup>3</sup>/año, 1992-2011), podría ser controlada y aprovechada para satisfacer las necesidades de la población local. Sin embargo es necesario considerar que entre Noviembre y Marzo gran parte del flujo mensual de agua se produce en un reducido número de eventos de lluvia, que generan grandes caudales en los ríos, por lo que difícilmente podrían ser captados y/o aprovechados.

## 5. CONCLUSIONES

La modelación temporal y espacial de caudales y control de agua, provee valiosa información para el análisis profundo y detallado de la dinámica de los flujos de agua en una cuenca intervenida, posibilitando un mejor entendimiento de los ciclos hidrosociales desarrollados a lo largo de la trayectoria de la cuenca. La construcción de escenarios, diferenciando y contabilizando los cambios de entradas y salidas de agua en la cuenca, relaciona los procesos naturales del ciclo hidrológico con los procesos sociales de control de agua, permitiendo una mayor aproximación a la realidad de los caudales de agua simulados.

Ante la diversidad de modelos disponibles, el modelo SWAT aparece como válido para la cuenca Pucara. Como puntos fuertes de dicho modelo cabe destacar su carácter continuo en el tiempo y semi-distribuido en el espacio, así como los módulos específicos para su aplicación en cuencas agrícolas altamente intervenidas (represas). Por el contrario, sus mayores limitaciones son la relativa complejidad en el uso del software y la elevada cantidad de datos de entrada requeridos. En referencia a los datos requeridos, estos no siempre se encuentran disponibles en las cuencas de Bolivia, con vacíos de información en aspectos como datos climáticos históricos, datos de control de agua (caudales trasvasados, caudales aprovechados y prácticas de uso de agua) y

datos hidrométricos para la calibración, siendo la falta de estos últimos la mayor limitación del presente estudio.

Los resultados logrados en el estudio realizado, justifican plenamente la orientación del proceso de desarrollo del riego en la cuenca Pucara, en cuanto a la construcción de embalses se refiere. La construcción de embalses permite almacenar agua en el periodo de lluvias para luego utilizarla en la época seca. Sin embargo, al estar estos embalses ubicados en la parte alta de la cuenca, se limita la superficie de captación por lo que se tiene que recurrir al trasvase de aguas de cuencas vecinas para poder ampliar los embalses. Finalmente, el proceso de cierre de la cuenca Pucara, condiciona las futuras acciones de intervención en riego en la cuenca, debido principalmente al incremento de la dependencia entre los diferentes usos y usuarios del agua de la cuenca.

## 6. REFERENCIAS

- Arnold, J. G., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2011). *Soil and Water Assessment Tool: Input/Output file documentation (Version 2009)* (p. 643). Texas: Texas A&M University System.
- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 152, 167–184.
- Cáceres, W. (2009). *Gestión de sistemas de riego Cuenca Hidrográfica Pucara*. *Gestión* (p. 68). Cochabamba.
- Cruz, R. (2009). Estudio hidrológico de la micro-región Tiraque Valle. Cochabamba.
- Cruz, R. (2010). *Asignación del agua en la microregión Tiraque Valle* (p. 38). Cochabamba.
- Cruz, R. (2011). *Modelo de Gestión del Agua de la Cuenca Pucara* (p. 36). Cochabamba, Bolivia.
- Delgadillo, O., & Lazarte, N. (2007). *Gestión de los sistemas de aprovechamiento de agua en el municipio de Punata* (p. 69). Cochabamba.
- Iriarte, J. (2012). *Sistematización de experiencias en modelación de recursos hídricos en Bolivia (Dptos. La Paz y Cochabamba)* (p. 25). Cochabamba.
- Mayta, A., & Alfaro, V. (2009). *Uso actual de tierra. Cuenca hidrográfica Pucara* (p. 36). Cochabamba.
- Molle, F. (2003). Development Trajectories of River Basins: A Conceptual Framework. *Water Management*. Colombo.
- Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Murray-rust, H., Paranjpye, V., Pollard, S., & Zaag, P. Van Der. (2007). River basin development and management. In D. Molden (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture* (pp. 585–624). London, United Kingdom: Earthscan.
- PROAGRO. (2010). *Inventario Nacional de Presas Bolivia 2010* (p. 410). La Paz, Bolivia: Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable.

Rocha, R., & Mayta, A. (2007). *Dinámica del cambio del uso de tierra en Punata (1983-1996-2005)* (p. 40). Cochabamba.

Rojas, F., & Montenegro, E. (2007). Potencial hídrico superficial y subterráneo del abanico de Punata. Cochabamba.

Seckler, D. (1996). The new era of water resources management: From dry to wet water savings. *Management*. Colombo, Sri Lanka. doi:10.3910/2009.003