

## Determinación del balance hídrico de la cuenca del río Carandaytí, del municipio de Macharetí - Chuquisaca

### Determination of the balance hydric of the basin of the river Carandaytí, of the municipality de Macharetí - Chuquisaca

*Braulio Hilton Calle Mamani*

- RESUMEN:** La falta de precipitaciones altas, durante casi todo el año, hace que el monte seco bajo tenga un déficit hídrico, esto es mitigado mediante la excavación de atajados, para el consumo del ganado y en algunos casos para consumo humano. El balance hídrico de la cuenca, el estudio de suelos y la calidad de las aguas nos indicó que la zona es apta para el cultivo de maíz y hortalizas, siempre y cuando se haga un buen manejo de los recursos hídricos, mediante riego en la época seca. Se conoció que la oferta de agua, durante la época de lluvias, puede cubrir la demanda, si se hace la excavación de más atajados y la conservación de humedales, esto mediante un manejo óptimo de la ganadería y el diferimiento de monte.
- PALABRAS CLAVE:** Balance hídrico, aforo, caudal, oferta, demanda, evapotranspiración, área incremental, precipitación.
- ABSTRACT:** The lack of high precipitations, during almost the whole year, he/she makes that the dry mount under he/she has a deficit hydric, this is mitigated by means of the excavation of having taken a short cut, for the consumption of the livestock and in some cases for human consumption. The balance hydric of the basin, the study of floors and the quality of the waters indicated us that the area is capable for the cultivation of corn and vegetables, provided a good handling of the resources hydrous is made, by means of watering in the dry time. It was known that the offer of water, during the rainy season, it can cover the demand, if one makes the excavation of more taken a short cut and the humedales conservation, this by means of a good handling of the cattle raising and the mount diferimiento.
- KEYWORDS:** Balance hydric, seating capacity, flow, offers, it demands, evapotranspiration, incremental area, precipitation.

---

**AUTOR:** *Braulio Hilton Calle Mamani*. Facultad de Agronomía- UMSA. Nuestra Señora de La Paz, Bolivia. [brauliohiltoncalle@gmail.com](mailto:brauliohiltoncalle@gmail.com)

**Recibido:** 30/08/16. **Aprobado:** 12/12/16.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el chaco boliviano, la producción pecuaria y agrícola, representa la fuente más importante de ingreso para su población. Las condiciones ambientales de esta región favorecen la producción de bovinos de carne, que tiene demanda en los mercados internos de Bolivia, pero por las condiciones climáticas, como por ejemplo la escasez de lluvia y temperaturas muy elevadas, con datos registrados del SENAMHI de 490 mm por año y 40 °C, se constituye en un ecosistema frágil.

Las oscilaciones de las precipitaciones anuales, unidas a las altas temperaturas convierten en aleatorio los resultados que condicionan el desarrollo agropecuario, especialmente la ganadería, principal actividad de las familias asentadas en esta zona, donde el agua es definitivamente un elemento deficitario en el ecosistema Chaco, existiendo gran demanda para el consumo humano, animal y vegetal.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Determinar el balance hídrico de la cuenca del río Carandaytí, del municipio de Macharefí-Chuquisaca

### 2.2. Objetivos Específicos

- Establecer la ganancia y pérdida de agua en la cuenca del río Carandaytí.
- Identificar las causas de pérdida de agua en el área de estudio.
- Conocer la oferta y la demanda de agua de los cultivos de la zona.

## 3. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 3.1. Balance Hídrico

El objetivo principal del balance hídrico es realizar una evaluación cuantitativa espacial y temporal a nivel medio de los recursos hídricos. (Montes de Oca, 1997).

Según Van Damme (2002), en una cuenca hidrográfica la oferta de agua compuesta por las precipitaciones y los escurrimientos aguas arriba es en parte evaporada y evapotranspirada, y el remanente escurre aguas abajo.

Mediante la lluvia, el riego y el ascenso capilar del agua subterránea en dirección a la zona radicular se aportan agua a la zona radicular y de esta manera disminuye el agotamiento de humedad en esta zona. Los procesos de evaporación, transpiración del cultivo y las pérdidas por percolación remueven el agua de la zona radicular, aumentando el agotamiento de la humedad del suelo. (FAO, 2006)

Para Bottega y Hoogendam (2012), ciertas zonas solo pueden captar agua que les traen las intempestivas crecientes durante la época de lluvias, mientras que el resto del año el río está seco o el agua circula bajo su

lecho, obligando a construir captaciones subterráneas y semi-subterráneas.

### 3.2. Infiltración

Según Aparicio (1992), se define la infiltración como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

Breña y Jacobo (2006), mencionan que, la cantidad de agua que atraviesa la superficie del terreno por unidad de tiempo y se desplaza al subsuelo recibe el nombre de ritmo o tasa de infiltración. El suelo puede estar formado por un medio poroso, por roca consolidada fracturada, o por una combinación de ambos.

Para Maldonado (2004), la velocidad de infiltración en el suelo está relacionada con la intensidad de precipitación y depende de las características físicas de este como la textura estructura, compactación, etc., además del contenido de humedad que al aumentar este la cantidad de agua infiltrada disminuye.

Aparicio (1992), menciona que los factores que afectan la capacidad de infiltración son: textura del suelo, humedad inicial y de saturación, cobertura vegetal, uso del suelo, aire atrapado, lavado de material fino, compactación, temperatura.

### 3.3. Escurrimiento

Según Breña y Jacobo (2006), el escurrimiento se la define como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago.

El escurrimiento que se presenta en un cauce es alimentado por cuatro fuentes:

- a. **Precipitación directa sobre el cauce.**  
Aporte modesto comparado con volúmenes

de las otras fuentes, debido a la pequeña superficie que abarcan las corrientes.

- b. Flujo subsuperficial.** Varían en el tiempo y en el espacio, en época de estiaje descargan a un ritmo casi constante, formando las corrientes perennes y en otros casos sólo aportan cantidades suficientes para mantener por algunas semanas más el cauce, formando así las corrientes intermitentes.
- c. Flujo base.** Aporte de un sistema acuífero somero a un cauce determinado.
- d. Esgurrimiento directo.** Volumen asociado a la precipitación.

### 3.4. El Caudal

Según Basan (2008), el caudal o gasto de una corriente es el volumen de agua que pasa por una sección transversal del cauce o canal en un tiempo dado, normalmente en la unidad de tiempo.

### 3.5. Aforo de Corrientes de Agua

Basan (2008), menciona que aforar una corriente de agua es determinar en un momento dado el valor del caudal. Aforo se denomina a toda tarea de campo y de gabinete que permiten determinar el caudal que pasa por una sección.

### 3.6. Importancia del Caudal en el Riego

En el manejo del agua para riego, se necesita saber de qué caudal se dispone y cuanta superficie se necesita regar, haciendo que para manejar la corriente de agua, con distintos propósitos, de manera eficiente, requiera del conocimiento de la cantidad de agua que pasa por un lugar en un tiempo determinado, durante un período de años lo más largo posible, para poder tomar decisiones de manejo adecuadas. (Basan ,2008)

El mismo autor menciona que el conocimiento del caudal se lo determina para:

- La capacidad de un embalse que permita atenuar las crecidas de los ríos.

- La dotación de agua que se puede abastecer, para consumo humano, para riego y consumo animal.
- Las dimensiones y diseño de la planta de bombeo de un pozo, midiendo el agua que descarga esta
- Para un canal es necesario controlar el volumen de agua que fluye, evitando que reciba más agua de la que puede conducir, y para regular la entrada con las necesidades aguas abajo, determinando las pérdidas por conducción y localizar fugas, en la distribución del agua durante su recorrido.

Para su uso en riego, los conocimientos actuales de la relación agua-suelo-planta, permiten prever un uso eficiente del agua mediante la aplicación en el momento oportuno y en volúmenes adecuados, basados en la capacidad de infiltración del suelo.

También se debe identificar características de la cuenca con relación a la obra de toma de agua, como es su origen, tipo de fuente que lo alimenta, precipitación media de la región, características geomorfológicas (PRONAR, 2011).

## 4. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se la realizo en la Organización Territorial de Base “La Algarrobilla”, parte del cantón Carandaytí de la tercera sección del municipio de Macharetí, provincia Luis Calvo, ubicada al sur de Bolivia en el departamento del Chuquisaca; a una altitud media de 500 m.s.n.m., con 20°52’ 25,5” de latitud sur y 62°55’ 52,5” de longitud oeste.

Ubicada en un área de transición entre el bosque serrano chaqueño y la llanura chaqueña; los llanos del chaco constituyen una extensa llanura boscosa, con escasos ríos.

El Municipio de Macharetí tiene una superficie de 7.988 Km<sup>2</sup> que representa el 15% del territorio departamental. Por su extensión territorial Macharetí ocupa el primer lugar a nivel departamental y su forma se asemeja a un rectángulo irregular. (PDM Macharetí, 2007). Del total de la región del chaco, la

zona subandina cubre el 24 %, el pie de monte el 23 % y la llanura chaqueña el 53% del territorio (PRONAR, 2003).

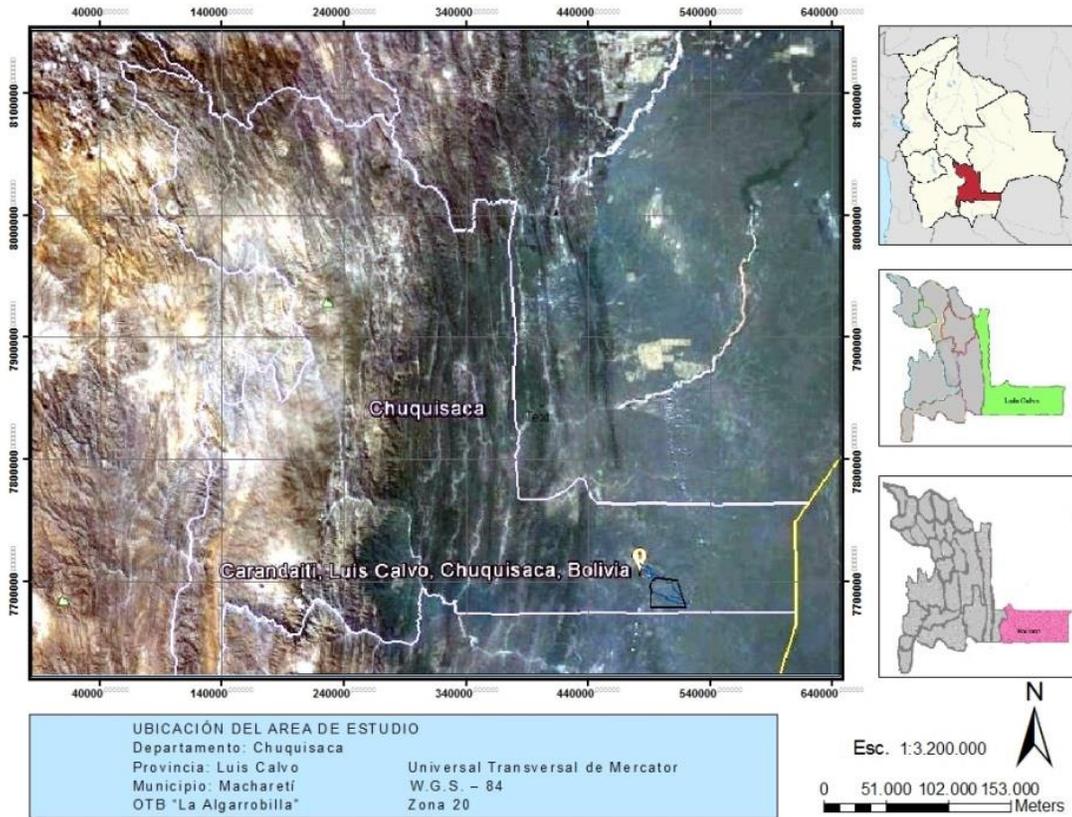


Figura 1. Ubicación geográfica de la OTB “La Algarrobilla”

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1. Aforo de Caudales

El grado de exactitud en la medición de un curso de agua depende del esfuerzo que se ponga en realizar la tarea y de los elementos de que se disponga. La selección del método dependió del volumen a medir y de las condiciones bajo las cuales deben efectuarse las medidas y de la exactitud requerida.

El método utilizado para el aforo de caudales en el área de estudio, fue el del flotador. Las mediciones correspondientes se la hicieron durante todo el mes de enero del año 2012 en los puntos de aforo del río Ñaguapua y del río Carandaytí. Se midió la velocidad de la superficie del agua del río en el centro de este,

usando un objeto flotante, posteriormente se midió la sección transversal del cauce, pudiendo hallar el caudal (Vásquez, Torres, Terán, Alfaro, Vílchez, Alcántara, Sevilla, Mondaca, 2000), mediante la fórmula:

$$Q = V * A \quad (1)$$

Dónde:

Q: Caudal (l/s)

V: Velocidad media (m/s)

A: Área de la sección transversal del cauce

### 5.2. Medición de la Pérdida y Ganancia de Agua

Por la falta de una estación meteorológica en el área de estudio y no poder contar con un tanque

evaporímetro para medir la evaporación, se construyó cuatro varillas de madera graduadas, en centímetros de un metro de altura, las cuales cada una fueron incorporadas a cuatro atajados del área de estudio al azar. Para realizar la lectura de la pérdida de agua se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Se hizo seis lecturas diarias en cada estaca, a diferentes horas, sacando una media aritmética al final del día.
- b) Con ayuda de una wincha se calculó las dimensiones de cada atajado, pudiendo conocer el ancho, largo y la profundidad del mismo.
- c) Calculando el volumen de cada atajado, se hizo una calibración teórica de la medición, pudiendo conocer la pérdida de agua en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), ya que se perdía milímetros de agua por el volumen total de cada atajado en estudio.
- d) Finalmente, con los datos obtenidos se realizó una prueba de t de Student, mediante la ayuda del programa estadístico InfoStat, luego estos resultados fueron corroborados con Microsoft Excel. La hipótesis formulada fue la siguiente:

**H<sub>0</sub>:** “Los volúmenes de agua perdidos en los atajados son iguales”

La prueba de t realizada se la hizo basada en una inferencia de dos muestras suponiendo varianzas iguales y desiguales para muestras independientes (Di Rienzo, Casanoves, Balzarini, González, Tablada, Robledo, 2008). Cuando la prueba de hipótesis indicó varianzas homogéneas, el estadístico t fue obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$t = \frac{(X_1 - X_2)}{\left\{ \frac{[(n_1 - 1)S^2_1 + (n_2 - 1)S^2_2]}{[n_1 + n_2 - 2]} \right\} * \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]} \quad (2)$$

Dónde:

- X<sub>1</sub> = media 1
- X<sub>2</sub> = media 2
- n<sub>1</sub> = número de elementos 1
- n<sub>2</sub> = número de elementos 2
- S<sup>2</sup><sub>1</sub> = varianza 1
- S<sup>2</sup><sub>2</sub> = varianza 2

Cuando la prueba de hipótesis nos indica que la homogeneidad de varianzas es rechazada, la prueba se basó en el estadístico:

$$t = \frac{[(X_1 - X_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{(S_{x_1 - x_2})} \quad (3)$$

Dónde:

- X<sub>1</sub> = media 1
- X<sub>2</sub> = media 2
- μ<sub>1</sub> = media de la población 1
- μ<sub>2</sub> = media de la población 2
- S<sub>x<sub>1</sub>-x<sub>2</sub></sub> = desviación estándar combinada

La desviación estándar determinada combinada fue hallada con la siguiente fórmula:

$$S_{x_1 - x_2} = \sqrt{\left( \frac{S^2_1}{n_1} + \frac{S^2_2}{n_2} \right)} \quad (4)$$

Dónde:

- S<sub>x<sub>1</sub>-x<sub>2</sub></sub> = desviación estándar combinada
- S<sup>2</sup><sub>1</sub> = varianza 1
- S<sup>2</sup><sub>2</sub> = varianza 2
- n<sub>1</sub> = número de elementos 1
- n<sub>2</sub> = número de elementos 2

### 5.3. Balance Hídrico de la Cuenca Hidrográfica

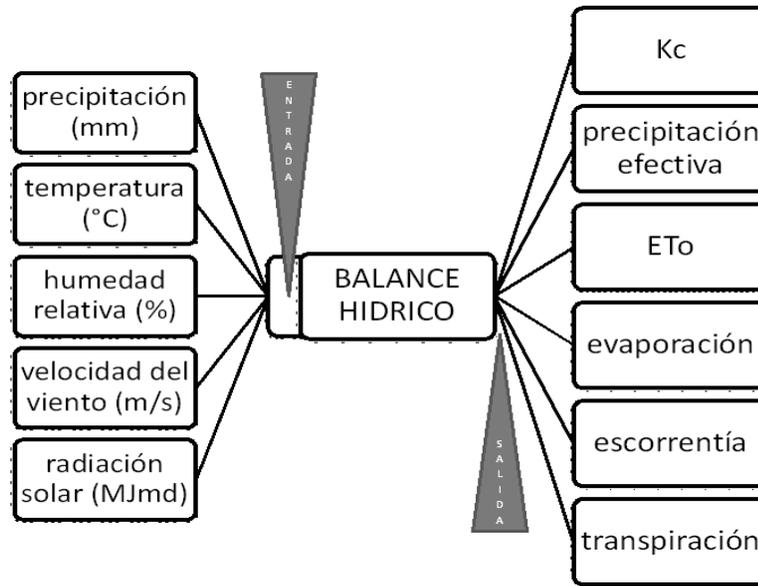


Figura 2. Balance hídrico de la cuenca hidrográfica

Se usó el programa ABRO 02 ver 3.1 y se siguió el siguiente procedimiento:

- En la ventana “ETo” se introdujeron los datos de: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, horas sol y velocidad del viento; además se indicó la latitud y longitud del área de estudio.
- Con estos datos se calculó la evapotranspiración según el método Penman Monteith.
- En la ventana “Situación sin proyecto” se introdujeron los datos de precipitación, se indicó los cultivos y las fuentes de agua existentes en el área de estudio.
- Seguidamente se pidió el reporte correspondiente.

### 5.4. Oferta de Agua y Caudales

En planillas Excel, mediante el método de la escuela mexicana, utilizando datos de precipitación de los últimos quince años, hallando el coeficiente de escorrentía, se logró determinar la oferta de agua de la cuenca, además de los caudales de los cauces principales.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1. Aforo de Caudales

En el río principal, el Carandaytí, se obtuvo un caudal promedio de 27,90 l/s, haciendo un aforo en un punto medio de la cuenca. Este dato de caudal nos indica que tenemos para regar 27 Has., pero durante la lluvia, ya que es un río intermitente.

En el río Ñaguapua, se obtuvo un caudal de 62,65 l/s, lo que significa que tenemos para regar un área de 62 Has., durante las precipitaciones, por ser un río intermitente.

### 6.2. Oferta de Agua

La oferta total por parte de la cuenca es de 270482,50 m<sup>3</sup> lo que significa un caudal de 104,35 l/s, pero considerando la capacidad del canal del transporte de agua la oferta real será de 27,9 l/s para todos los meses; tal como se puede observar en los cuadros siguientes:

Tabla 1. Informe de aforo de caudales.

Fuente de agua N° 1										Fuente de agua N° 2												
Tipo de fuente de agua: Río intermitente										Tipo de fuente de agua: Río intermitente												
Nombre: Río Ñaguapua										Nombre: Río Carandayti												
Método usado: Flotador										Método usado: Flotador												
Caudal (Q)										Caudal (Q)												
Velocidad media ( $\bar{V}$ )					Área (A)					Velocidad media ( $\bar{V}$ )					Área (A)							
Velocidad superficial (V)		Factor de corrección (F)	Ancho (m)	Profundidad (m)						Velocidad superficial (V)		Factor de corrección (F)	Ancho (m)	Profundidad (m)								
Distancia medi ( $\bar{X}$ ) (m)	Tiempo medio ( $\bar{t}$ ) (s)			$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$\bar{h}$	Distancia media ( $\bar{X}$ ) (m)			Tiempo medio ( $\bar{t}$ ) (s)	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$\bar{h}$	
5	79,75	0,5	3,9	0,00	0,68	0,90	0,70	0,78	0,00	0,51	2	25,45	0,5	3,7	0,00	0,30	0,35	0,30	0,20	0,00	0,19	
0,0629 m/s											0,0786 m/s											
0,0315 m/s				1,989 m <sup>2</sup>						0,0393 m/s				0,7093 m <sup>2</sup>								
0,0626 m <sup>3</sup> /s										0,0279 m <sup>3</sup> /s												
62,6535 l/s										27,90 l/s												

Fuente: Elaboración propia (2013).

En la región chaqueña la oferta de agua es precaria, ya que tiene características semiáridas y el régimen de

lluvias se concentra solo en el verano, existiendo en el resto del año escasas o nulas precipitaciones.

Tabla 2. Área bajo riego óptimo.

CULTIVO													Maiz (grano)	TOTAL	
AREA REAL (ha)													372.00	372.00	
AREA BAJO RIEGO OPTIMO													15.08	15.08	
		AREA NETA (ha)		372.00		FACTOR DE AREA		0.0405		CAPACIDAD MAXIMA (l/s)		27.00			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	ANUAL		
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	365		
ET (mm/día)	2.60	2.81	4.11	4.64	5.52	5.72	5.73	5.47	4.76	4.41	3.25	2.54			
ET (mm/mes)	77.88	87.26	127.56	139.29	171.07	171.73	177.72	169.66	133.15	136.60	97.59	78.81	1,568.33		
Prec. (mm)	8.00	7.30	2.10	13.30	26.00	51.90	122.20	103.60	169.80	134.10	50.40	31.10	719.80		
Prec. Efec. (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	25.52	81.76	66.88	119.84	91.28	24.32	8.88	423.28		
Kc (Maiz (grano))	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.73	1.15	0.87	0.60	0.00			
ETR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.09	123.85	153.12	118.85	58.56	0.00	509.47		
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.97	33.28	27.57	34.24	0.00	152.06		
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,591.25	5,019.35	4,156.99	5,162.78	0.00	22,930.37		

Fuente: Elaboración propia (2013).

La mayor evapotranspiración se presenta en el mes de noviembre con un 5,72 mm/día y el menor valor de evapotranspiración se presenta en el mes de junio en la estación de invierno alcanzando un valor de 2

mm/día. La ETr (mm), evapotranspiración de referencia, exenta de enfermedades, presenta su mayor valor en el mes de febrero con 153,12 mm del cultivo de maíz.

Tabla 3. Evapotranspiración de referencia y caudales para riego.

	Junio 30	Julio 31	Agosto 31	Septiembre 30	Octubre 31	Noviembre 30	Diciembre 31	Enero 31	Febrero 28	Marzo 31	Abril 30	Mayo 31	ANUAL β65
ETR total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.09	123.85	153.12	118.85	58.56	0.00	
Area Total (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08	15.08	15.08	15.08	15.08	0.00	
Req. Neto (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,591.25	5,019.35	4,156.99	5,162.78	0.00	22,930.37
Req. Riego (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.97	33.28	27.57	34.24	0.00	152.06
Caudal Neto (l/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.21	2.07	1.55	1.99	0.00	
Caudal (l/s/ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.14	0.10	0.13	0.00	0.59

Fuente: Elaboración propia (2013)

El mayor requerimiento de agua por parte del cultivo para satisfacer las necesidades fisiológicas, se presenta en el mes de enero con 56,97 mm, la que representa un caudal de 3,21 l/s y el menor requerimiento se presenta en el mes de marzo con 27,57 mm, que representa un caudal de 1,55 l/s respectivamente.

- Eficiencia de captación= 60%
- Eficiencia de conducción = 60%
- Eficiencia de distribución=60%
- Eficiencia de aplicación= 55%

El mes que mayor demanda se presenta es el mes de enero con un caudal de 27 l/s, y el mes de menor demanda es el mes de marzo con 13,06 l/s. Tal como muestra el cuadro siguiente:

### 6.3. Demanda de Agua por parte del Cultivo

La cantidad de agua demanda por el maíz, considerando que el área cultivable total es de 15,58 ha y considerando las siguientes eficiencias:

Tabla 4. Demanda de agua.

DEMANDA													
EFICIENCIA TOTAL = 0.118800	Eficiencia de Captación = 0.60			Eficiencia de Conducción = 0.60			Eficiencia de Distribución = 0.60			Eficiencia de Aplicación = 0.55			
Req. Bruto Total (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	479.55	280.17	232.04	288.18	0.00	1,279.93
DEMANDA TOTAL (l/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00	17.46	13.06	16.77	0.00	74.30
DEMANDA TOTAL (m3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72,316.96	42,250.40	34,991.47	43,457.78	0.00	193,016.61
Caudal Unitario Bruto (l/s/ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.16	0.87	1.11	0.00	4.93

Fuente: Elaboración propia (2013)

Actualmente no se tiene el cultivo de maíz bajo riego, ya que en la zona existe una actividad agrícola a secano, pero considerando eficiencias bajas y canales rústicos de tierra canales erosionables se puede llegar a regar aproximadamente 15,08 ha.

Tabla 5. Área incremental.

SIN PROYECTO													
CULTIVO													TOTAL
AREA REAL (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CON PROYECTO													
CULTIVO Maiz (gran)													TOTAL
AREA REAL (ha)	372.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	372.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	15.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08
AREA INCREMENTADA (ha)	15.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08
MES	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
SIN PROYECTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CON PROYECTO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08	15.08	15.08	15.08	15.08	15.08	0.00
AREA INCREMENTADA MES (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08	15.08	15.08	15.08	15.08	15.08	0.00
INDICE DE INCREMENTO MES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AREA INCREMENTADA (ha):	15.08												

Fuente: Elaboración propia (2013).

#### 6.4. Balance Hídrico

almacenamiento, exceso y la evapotranspiración real en la cuenca:

Mediante los datos mensuales de la precipitación y la evapotranspiración, se logró conocer el déficit,

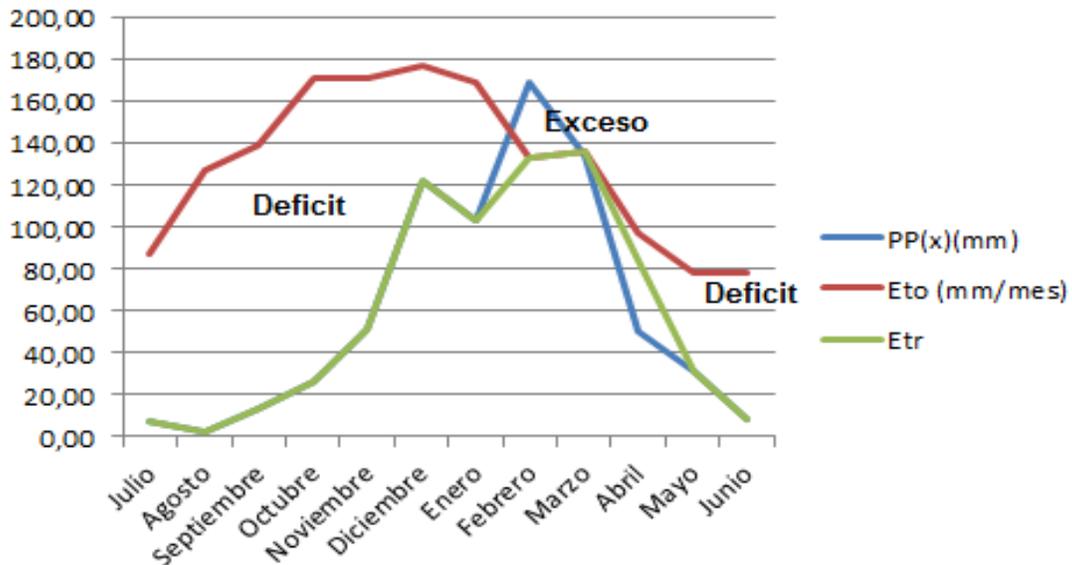


Figura 2. Balance hídrico de la zona

Se puede observar un déficit todos los meses del año, a excepción de los meses de febrero y marzo, que coincide con la época de lluvias.

Tabla 6. Balance hídrico para riego.

BALANCE													
BALANCE (l/s)	27.00	27.00	26.78	27.00	27.00	27.00	27.00	0.00	9.54	13.94	10.23	27.00	
Superficie de Riego Máx. (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.08	23.31	31.17	24.29	0.00	
Superficie Adicional (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.23	16.09	9.20	0.00	
AREA DEFICITARIA (ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia (2013)

De acuerdo al balance hídrico obtenido por el ABRO se presenta un déficit hídrico en el mes de enero.

Tabla 7. Precipitación efectiva.

Año	PP(mm)	>PP<	M	%PP (m/n+1)*100
1990	590,80	1161,00	1	5,88
1991	758,00	1063,20	2	11,76
1992	1161,00	772,90	3	17,65
1993	753,00	761,94	4	23,53
1994	709,50	758,00	5	29,41
1995	717,00	753,00	6	35,29
1996	662,80	753,00	7	41,18
1997	1063,20	717,00	8	47,06
1998	772,90	709,50	9	52,94
1999	651,80	662,80	10	58,82
2000	650,40	651,80	11	64,71
2001	490,10	650,40	12	70,59
2002	570,20	590,80	13	76,47
2003	753,00	570,20	14	82,35
2004	451,69	490,10	15	88,24
2005	761,94	451,69	16	94,12

Fuente: Elaboración propia (2013)

Tomando el 75% de probabilidad, que es el porcentaje aceptable, se puede concluir que existe una probabilidad del 75% de que llueva por lo menos 635,50 mm.

### 6.5. Pérdida de Agua en los Reservorios de Agua

Se hizo la medición de la pérdida de agua en cuatro reservorios de agua representativos de la zona de estudio, con ayuda de varillas graduadas

implementadas en los atajados, con estas lecturas se las calculó el volumen perdido de agua a través de las dimensiones de cada atajado, durante un mes. Mediante las lecturas diarias se obtuvo los siguientes resultados:

### 6.6. Prueba t de Student

La prueba t de Student dio los siguientes resultados:

Tabla 8. Estimadores estadísticos de los atajados en estudio.

Estimador	Atajado 1	Atajado 2	Atajado 3	Atajado 4
N	27	27	27	27
Media	22,87	10,34	18,21	17,05
Varianza	13,00	1,99	32,00	7,88

Fuente: Elaboración propia (2013)

Como se observa en el cuadro anterior, la máxima pérdida registrada de agua se da en el atajado 1, con una media de 22,87 metros cúbicos; y la mínima

registrada, con una media de 10,34 metros cúbicos es el atajado 2.

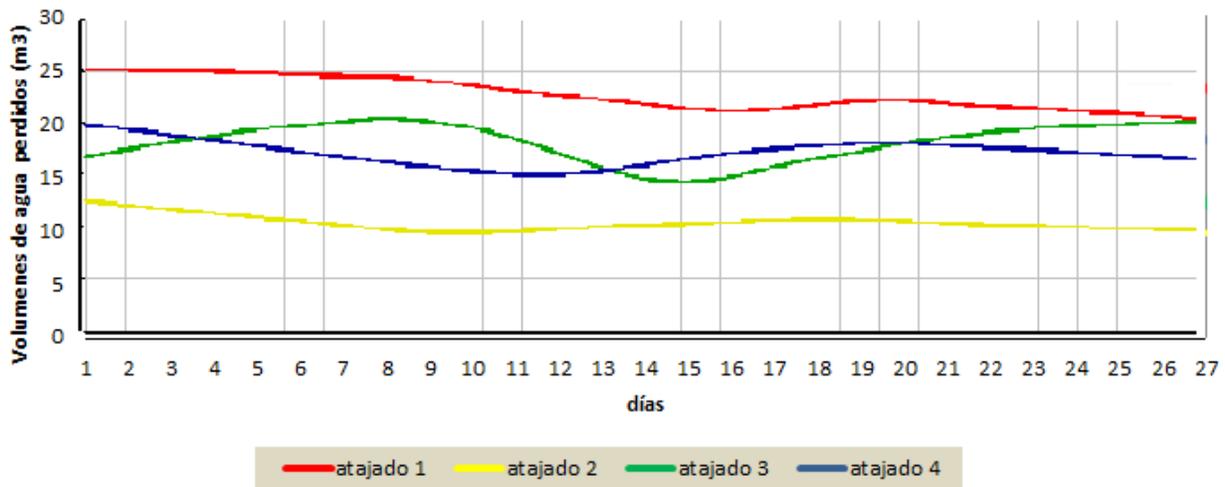


Figura 2. Dinámica de la pérdida de agua en los atajados

La pérdida de agua en los reservorios de agua o también llamados atajados, es debido a los factores del clima y del tipo de suelo presente mediante la infiltración. Un clima cálido y seco hace que la capacidad de retención de agua por el aire sea mayor, acumulando humedad gracias al viento y la evaporación.

El tipo de suelo en la llanura chaqueña alberga una vegetación casi xerofítica, con capacidad de soportar

sequías, habiendo por tal una rápida infiltración, con la presencia en muchos sectores de suelos anegados, donde por lo general se ubican todos los reservorios de agua en la zona.

En la figura anterior se puede observar la dinámica que tuvo la pérdida de agua en metros cúbicos de los 4 atajados en estudio, en el lapso de 27 días, resultando que el atajado 1 tiene una mayor pérdida que los demás seguido de los atajados 3, 4 y 2

respectivamente. Estas diferencias son debidas al diseño del atajado y al tipo de suelo.

Cabe resaltar que un atajado más profundo que ancho tiene una menor longitud de espejo de agua y viceversa, influyendo en una menor o mayor pérdida de agua por evaporación.

Tabla 9. Resumen comparativo de la inferencia basada en dos muestras.

Comparación atajados		valor t	grados de libertad	valor crítico (2 colas)	Afirmación Ho (0,05)
Grupo 1	Grupo 2				
Atajado 1	Atajado 2	16,81	34	2,03	Rechazo Ho
Atajado 1	Atajado 3	3,61	45	2,02	Rechazo Ho
Atajado 1	Atajado 4	6,62	52	2,01	Rechazo Ho
Atajado 2	Atajado 3	-7,01	29	2,05	Rechazo Ho
Atajado 2	Atajado 4	38,01	26	2,06	Rechazo Ho
Atajado 3	Atajado 4	0,96	39	2,02	Aceptación Ho

Fuente: Elaboración propia (2013)

En la comparación de los atajados: 1 - 2, 1 - 3, 1 - 4, 2 - 3, 2 - 4; como el valor de t cae en la zona de rechazo de la hipótesis nula, se puede afirmar con un 95% de certeza que los volúmenes perdidos diarios de agua en ambos atajados son diferentes.

En la comparación de los atajados 3 - 4, como el valor de t cae en la zona de aceptación de la hipótesis nula, se afirma que realizada la prueba de hipótesis, la pérdida de agua en ambos atajados son iguales, afirmación realizada con un nivel de significancia del 5 %.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

La ganancia total de agua, ofertada por la cuenca en estudio, es de 24224226 m<sup>3</sup> por año, este valor ya comprende un 10 % de caudal ecológico, para la vida silvestre de plantas y animales. La precipitación anual más probable, a un 75%, que se da en toda la cuenca es de 635,50 mm, equivalente a 635 litros por cada metro cuadrado.

La demanda total de agua, que se requiere para riego, es de 193016.61 m<sup>3</sup> equivalentes a un caudal de 74.30

l/s. El déficit de agua en toda la cuenca y en la organización territorial de base (OTB), es en casi todos los meses del año, pero esto no sucede cuando empieza la época de lluvias, que solo dura de dos a tres meses.

Según los resultados obtenidos de la pérdida de agua en los reservorios de agua, en la organización territorial de base “la algarrobilla”, se concluye que la pérdida de volúmenes de agua es diferente en los atajados en estudio, esto debido principalmente al diseño de estos, por el tipo de suelos y desiguales espejos de agua, los cuales influyen en la infiltración y evaporación respectivamente.

### 7.2. Recomendaciones

Se recomienda un estudio más específico de los humedales presentes en la zona de estudio, esto para conocer su régimen hídrico y su vegetación.

Se debe hacer la implementación de canales de riego, que lleguen desde los ríos principales y reservorios de agua, para lograr una mayor eficiencia en la aplicación de este.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aparicio Mijares, Francisco Javier.1992. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. LIMUSA S.A 1ra reimpresión. México DF.152 p.

Basan Nickisch, Mario. 2008. Curso de “Aforadores de corrientes de agua”. INTA EEA Santiago del Estero.61 p

Bottega Alfonso y Hoogendam Paul. 2012. Obras de riego para zonas montañosas. Serie de investigación aplicada N°6: criterios de diseño y construcción de obras de captación para riego. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. 2da Edición. La Paz, Bolivia. 233 p.

Breña, A., Jacobo, M. 2006. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. Mexico.287 p. disponible en: [www.uamenlinea.uam.mx](http://www.uamenlinea.uam.mx)

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

FAO.2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma- Italia.298p.

Maldonado Ramos Brayne Ronery. 2004. Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas.Guatemala.109 p.

Montes de Oca, Ismael. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. Cooperación Técnica Canadiense. La Paz, Bolivia. p. 79-113.

Programa Nacional de Riego (PRONAR), 2011. Criterios de diseño y construcción de Tomas de Tipo Presa Derivadora. Serie de investigación aplicada N°4. Programa de Desarrollo Agropecuario

Sustentable (PROAGRO). 2da Edición. Cochabamba, Bolivia. 196 p.

Van Damme, Paul.2002. Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia. Cumbre Mundial sobre el Desarrollo sostenible, Johannesburgo.

Vásquez, A. Torres, C. Terán, R. Alfaro, J. Vílchez, G. Alcántara, J. Sevilla, J. Mondaca, E. 2000. Manejo de cuencas alto andinas. Tomo 1. Universidad Nacional Agraria La Molina.516 p.