

## EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL RIEGO TRADICIONAL DE LA CUENCA AZANAQUES

### Evaluation of the water resources demand in the traditional irrigation of the Azanaques basin

Ronald Reynaldo Coela Poma<sup>1</sup>; Marcelo Tarqui Delgado<sup>2</sup>

#### RESUMEN

Las condiciones climáticas adversas del departamento de Oruro se caracterizan por las bajas precipitaciones y alta evapotranspiración que limitan la producción de cultivos y forrajes, por estas razones los agricultores se ven en la necesidad de recurrir al riego complementario. Para este fin utilizan agua de los ríos de la cuenca Poopó entre las cuales se encuentra el río Azanaque que es la única fuente de agua disponible para el riego y para el consumo animal. Bajo las características actuales del riego tradicional parcelario en las zonas de estudio, el objetivo principal de la investigación fue cuantificar, evaluar y describir la demanda de los recursos hídricos aplicados al riego a nivel parcelario, debido a que no se conoce si las láminas aplicadas se encuentran por encima o por debajo de los requerimientos reales del cultivo, si su manejo en la aplicación presenta eficiencias aceptables, o si está influenciada por la organización y gestión del riego. La metodología consistió en realizar el muestreo de suelos, mediciones de la humedad del suelo, pruebas de infiltración y estimación del balance hídrico parcelario, concluyéndose que el agua del río Azanaque tiene un pH promedio de 5.22 clasificado como normal a moderadamente ácido con bajo contenido de sodio y boro, puede ser utilizado sin restricción en la mayoría de los suelos y cultivos. El volumen hídrico ofertado en la cuenca es menor en la mayor parte del ciclo de los cultivos a excepción del periodo comprendido entre los meses de febrero a abril donde la oferta es mayor debido principalmente a las bajas eficiencias de riego de los sistemas.

**Palabras clave:** Riego complementario, balance hídrico, cuenca Azanaques.

#### ABSTRACT

The adverse climatic conditions of the department of Oruro are characterized by the low rainfall and high evapotranspiration that limit the production of crops and fodder, for these reasons farmers are in need of resorting to complementary irrigation. For this purpose they use water from the rivers of the Poopó basin, among which is the Azanaque River, which is the only source of water available for irrigation and for animal consumption. Under the current characteristics of traditional irrigation in the study areas, the main objective of the research was to quantify, evaluate and describe the demand of water resources applied to irrigation at the parcel level, because it is not known whether the applied Are above or below actual crop requirements if their management in the application presents acceptable efficiencies or if it is influenced by the organization and management of irrigation. The methodology consisted in soil sampling, soil moisture measurements, infiltration tests and estimation of the plot water balance. It was concluded that Azanaque river water has an average pH of 5.22 classified as normal to moderately acid with low Sodium and boron, can be used without restriction in most soils and crops. The water volume offered in the basin is lower in most of the crop cycle except for the period from February to April, where the supply is higher due mainly to the low irrigation efficiencies of the systems.

**Keywords:** Complementary irrigation, water balance, Azanaques basin.

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía. Maestrante en Ingeniería de Riegos. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. coelaronald@gmail.com

<sup>2</sup> Docente investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

## INTRODUCCIÓN

Las escasas precipitaciones que se dan en el Altiplano boliviano, principalmente en el Altiplano Central, asociado a los riesgos climáticos, originan un déficit hídrico de aproximadamente seis meses, provocando que la producción agrícola y pecuaria sea limitada. Ante esta situación los agricultores ven la necesidad de recurrir al riego complementario para garantizar la producción de los cultivos.

La mayoría de los estudios realizados hasta el año 2005 muestran que los ríos de esta región presentan una clara variabilidad estacional en la cual los caudales son mínimos durante la época seca del año, y elevados en la época de lluvias, aspecto que ha generado preocupación en la ejecución de estudios en este ámbito debido a que el periodo seco del año coincide con los meses de mayor demanda de agua para el riego y donde los diferentes sistemas de riego tradicionales de la región no han podido satisfacer plenamente las necesidades hídricas de los cultivos, creando una serie de dificultades entre los productores.

Bajo las características actuales de riego “tradicional parcelario” de la provincia Sebastián Pagador, el problema central de la investigación fue evaluar la situación actual de la demanda hídrica de los cultivos, ya que no se cuenta con esta información de una manera precisa, que permita conocer, si las láminas de riego aplicadas son mayores o menores a lo requerido por los cultivos, se tomó para tal fin como puntos de evaluación, los distintos factores que intervienen en este proceso.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se inició con el acopio de información secundaria, referente a datos climáticos, precipitación, radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, estos datos fueron obtenidos de los registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2008), mapas y fotografías aéreas (I.G.M.).

### Muestreo de suelos

Para determinar las características físicas de los suelos, se tomó 100 cm<sup>3</sup> de muestras no alteradas de la cabecera y final de cada parcela con riego a 20 y

40 cm de profundidad para su análisis físico en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, el análisis químico se realizó en el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear IBTEN.

### Mediciones de humedad del suelo

Para determinar la dinámica del agua en el suelo, se establece la secuencia de mediciones (lecturas) de humedad, mediante pruebas de medición para evaluar la variación de la humedad en el tiempo. La primera medición se realizó al inicio del mes de septiembre antecediendo la época de siembra que se inició finalizando el mes; los intervalos fueron de una semana a fin de conocer el contenido de humedad del suelo para su posterior relacionamiento con los turnos de riego y precipitaciones. Las lecturas de mediciones de humedad en el perfil del suelo de las parcelas con riego, contempla tres profundidades: 20, 40 y 60 cm.

### Pruebas de infiltración

Se aplicó el método de los cilindros infiltrómetros de doble cilindro con tres repeticiones por parcela en cinco unidades seleccionadas cubriendo toda el área de producción bajo riego de la gestión en evaluación. Se empleó las ecuaciones propuestas por Kostiakov (1932), citado por Gurovich (1985), que miden la velocidad de infiltración y lámina de agua acumulada en función del tiempo.

$$I = KT^n \quad (1)$$

Dónde: I = velocidad de infiltración instantánea (cm min<sup>-1</sup>); T = tiempo acumulado (min); K = constante que representa la velocidad de infiltración para T = 1; n = pendiente de la curva de infiltración, respecto al tiempo (-1 < n < 0).

$$D = CT^b \quad (2)$$

Dónde: D = f (T); C = lámina de agua acumulada en el perfil del suelo cuando T=1; b = pendiente de la curva de infiltración acumulada versus el tiempo.

### Estimación del balance hídrico parcelario

Se determinaron las entradas, almacenamiento, drenaje, escurrimiento y evapotranspiración basadas en la siguiente ecuación:

$$Nn = (pe - dac) - (ETc + dp) + \Delta W \quad (3)$$

Dónde: Nn = necesidades netas de riego (mm); ETc = evapotranspiración de cultivo (mm); Dp = pérdidas por percolación profunda de la zona radicular (mm); Pe = aportes de la precipitación efectiva (mm); Dac = aportes por ascensión capilar (nivel freático)

(mm);  $\Delta W$  = variación de la humedad del suelo (CC y PMP) (mm).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Características de la cuenca

El área plana en proyección horizontal o área de drenaje tiene una extensión de 77.503 km<sup>2</sup> y un perímetro de 43.094 km, se clasifica a esta unidad hidrográfica en base a los rangos de área referenciales como subcuenca por tener un área mayor a 50 km<sup>2</sup> y menor a 80 km<sup>2</sup>.

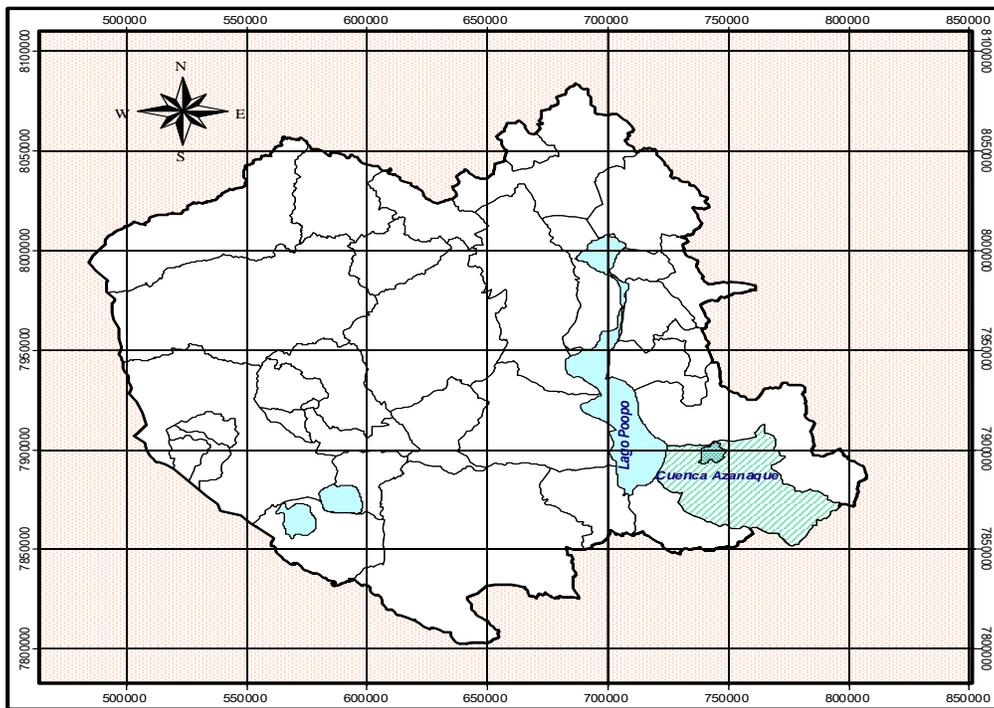


Figura 1. Ubicación de la cuenca Azanaques.

### Suelos de la zona de estudio

#### Descripción de los suelos de la zona de estudio

La descripción del perfil de los suelos, reporta horizontes de textura franco arcillo arenoso hasta una profundidad efectiva regular de 47 cm, presenta cuatro horizontes diferenciables los cuales son: Ap, A2, (B) y C1. Tienen una pendiente media a casi plana con una forma lineal longitudinalmente y cóncava transversalmente. El suelo está imperfectamente a moderadamente drenado clasificándose como clase tres, la inundación no se evidencio pero existe ligero encharcamiento ante las precipitaciones provocando

que los suelos tengan una condición húmeda con baja presencia de piedras clasificándose como clase 0 de acuerdo a la FAO.

La cobertura vegetal nativa presente en la unidad está compuesta por: Ayrampu (*Opuntia airampus*), Sewenca (*Cortaderia atacamensis*), Thola (*Parastrephia lepidophylla*). Los principales cultivos implementados en la unidad son: haba (*Vicia faba*) y cebada (*Hordeum vulgare*).

### Características físicas y químicas de los suelos

El análisis físico de suelos (Tabla 1) muestra que la profundidad efectiva en las diferentes unidades de evaluación es muy variable, los suelos con mayor profundidad corresponden a la unidad (U3) que alcanzan los 62 cm, esta unidad encierra cultivos en

su mayoría de trigo (*Triticum aestivum*) u otras leguminosas que tienen una profundidad radicular aproximada de 60 cm por lo que son aceptables y aptos para este tipo de cultivos. La unidad U1 con una profundidad efectiva de 47 cm, se considera apta para los cultivos implementados de los cuales la mayor parte corresponde al cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa*).

Tabla 1. Características físicas de los suelos.

Parámetros	Parcelas				
	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5
Profundidad efectiva (cm)	0 - 47	0 - 40	0 - 62	0 - 28	0 - 30
Clase, textura	FYL	FYL	F - FY	FYL	Y
Densidad Aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1.61	1.66	1.63	1.51	1.69
Porosidad (%)	39.26	37.43	38.63	43.14	36.20
Capacidad de campo CC (%)	15.74	17.52	18.82	16.48	18.63
Punto de marchites permanente PMP (%)	9.92	11.03	11.85	10.38	11.74
Humedad aprovechable (%)	5.82	6.48	6.97	6.10	6.90

El análisis químico de los suelos (Tabla 2) muestra que el pH del área productiva de la cuenca se encuentra entre 5.03 en la unidad U5 hasta 5.85 en la unidad (U2).

Tabla 2. Características químicas de los suelos en el área de riego.

Parámetros	Unidad				
	U1	U2	U3	U4	U5
pH	5.61	5.85	5.67	5.47	5.03
Conductividad eléctrica CE (ds h <sup>-1</sup> )	0.07	0.07	0.03	0.05	0.02
Aluminio	0.05	0.04	0.05	0.14	0.15
Calcio (Ca)	5.12	4.76	3.60	4.76	2.16
Magnesio (Mg)	0.83	1.32	0.90	0.87	0.44
Sodio (Na)	0.33	0.34	0.12	0.12	0.09
Potasio (K)	0.33	0.47	0.34	0.33	0.34
TBI	6.60	6.64	5.66	4.07	3.03
CIC	6.66	6.37	5.01	5.72	3.18
SAT.BA.	99.20	99.38	99.00	96.65	95.30
M.O. (%)	1.01	1.18	1.13	0.74	0.98
NT (%)	0.08	0.04	0.04	0.05	0.05
P.ppm.	3.88	5.51	8.00	3.28	7.31
Índice de Fertilidad	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

### Fuentes de agua

La existencia de los recursos hídricos en la cuenca, en gran medida es dada por la contribución de lluvias, aguas subterráneas y deshielos de los nevados. Las fuentes se categorizan en tres tipos: afluentes permanentes, vertientes estacionales y bofedales. La fuente de agua de la cuenca para fines de riego es el río Azanaque, de curso natural y permanente; beneficia parcialmente mediante el riego a los cultivos de los seis ayllus que componen San Pedro de Condo, la cabecera del área de riego se encuentra a 10 km aguas abajo de las nacientes del río y el área de riego de la zona baja a 15 km.

Las vertientes estacionales se encuentran dispersas a lo largo de toda la cuenca, presentando caudales durante los meses de la época húmeda del año (enero a marzo). En la cuenca existen quince bofedales que tienen un área de 1.19 km<sup>2</sup>, caracterizadas por la acumulación permanente de agua y aporte a la cuenca. Estos por su capacidad de retención, se constituyen en un campo natural de pastoreo con vegetación siempre verde y suculenta, de elevado potencial forrajero y con suelo permanentemente húmedo.

## Oferta de los recursos hídricos

Los caudales ofertados en la cuenca Azanaque, de acuerdo al estudio hidrológico efectuado por el Instituto de Hidráulica e Hidrológica de la Universidad Mayor de San Andrés IHH-UMSA, muestran los siguientes resultados:

Tabla 3. Oferta hídrica de la cuenca Azanaque.

Año	Mes	Caudal promedio ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	V ( $\text{m}^3$ )
2008	Junio	0.02	41212.8
	Julio	0.01	22377.6
	Agosto	0.01	16070.4
	Septiembre	0.00	7776.0
	Octubre	0.12	313545.6
	Noviembre	0.05	130550.4
	Diciembre	0.06	149904.0
2009	Enero	0.10	280886.4
	Febrero	0.14	330652.8
	Marzo	0.48	285027.2
	Abril	0.12	320803.2
	Mayo	0.06	151027.2
	Total	1.16	049833.6

De acuerdo con los registros obtenidos de oferta hídrica para la gestión agrícola 2008 y 2009, el mes de máxima disponibilidad de agua fue marzo con un volumen de 1285027.2  $\text{m}^3$  y el mes de menor oferta fue septiembre con 7776  $\text{m}^3$ . El periodo evaluado, muestra dos épocas claramente diferenciados: el primero de estiaje o periodo seco, entre los meses de junio a diciembre y un segundo periodo entre los meses de enero a mayo con una oferta total de 3049833,6  $\text{m}^3$ .

### Caudal ecológico del río Azanaque

Con los registros de caudales observados en las últimas tres gestiones, la determinación del caudal ecológico aplicado por el Fondo de Inversión Productiva y Social (FPS) de la cuenca Azanaque es 3081.6  $\text{m}^3$  por mes, que expresados en términos de caudal, equivale en promedio a 1.17  $\text{l s}^{-1}$ .

## Usos de agua

El agua en la cuenca se ha convertido en el principal factor limitante de desarrollo agrícola, principal actividad del sector para la generación de ingresos económicos, donde los principales usos del agua son para el riego en la agricultura y en menor grado para el consumo pecuario y doméstico.

El uso del agua a nivel agrícola como riego es el más importante y alcanza aproximadamente al 97% de su uso total, su manejo no tiene metodologías definidas y carece de aspectos técnicos, como mantener la humedad entre la capacidad de campo y punto de marchites para contrarrestar las pérdidas por evapotranspiración.

### Calidad del agua para riego

De acuerdo al estudio de calidad de aguas realizadas en el río Azanaque, en las inmediaciones del área de riego, son buenas pero sufren una fuerte acidez cerca de las minas abandonadas que se encuentran cerca de las nacientes del río debido a la alta concentración de hierro en solución que tienen las aguas que aportan las minas, incluso notorio por su coloración amarillenta a rojiza. Sin embargo, esta alta acidez próxima a las minas abandonadas, mejora sustancialmente en la parte baja de la cuenca, esta se debe a la oxidación que experimenta el hierro y su posterior precipitación, proceso de autodepuración visiblemente notorio.

Resultado de la observación y relato de los regantes de la comunidad, las aguas con mayor grado de contaminación son los correspondientes a los sistemas de riego Chullpa Loma y Parajullqui. El análisis de aguas de riego de estos sistemas fue realizado en el mes de octubre, que es la época de máxima aplicación de riego a las parcelas, obteniéndose los siguientes resultados de las características físicas y químicas.

Tabla 4. Características físicas y químicas del agua para riego.

Elemento	Unidad	Valores	
		Sistema de riego de Chullpa Loma	Sistema de riego de Parajullqui
PH	ms cm <sup>-2</sup>	5.26	5.17
CE	ms cm <sup>-2</sup>	135.2	132.6
RAS	ms cm <sup>-2</sup>	3.945	2.586
Na	mg l <sup>-1</sup>	13.21	9.39
Mg	mg l <sup>-1</sup>	5.95	6.94
Ca	mg l <sup>-1</sup>	16.47	19.42
B	mg l <sup>-1</sup>	0.56	0.4
Cloruro	mg l <sup>-1</sup>	21.1	21.2
Nitrato	mg l <sup>-1</sup>	0.79	0.3
Fosfato	mg l <sup>-1</sup>	0.004	0.004
sulfato	mg l <sup>-1</sup>	79.42	116.45
Arsénico	mg l <sup>-1</sup>	<0.1	<0.10
Cadmio	mg l <sup>-1</sup>	0.01*	0.01*
Plomo	mg l <sup>-1</sup>	0.003	0.003
Zinc	mg l <sup>-1</sup>	1.02*	1.02*
Hierro	mg l <sup>-1</sup>	0.14	0.14

\*Valores que sobrepasan los límites permisibles propuestos por el reglamento de contaminación Hídrica de la ley del Medio Ambiente (1333) para aguas de uso agrícola y riego.

De acuerdo al diagrama del USDA y directrices de la FAO se establece que las aguas de riego pertenecen a la clase C1-S1 lo cual indica que las aguas presentan baja salinidad, por lo que no presenta restricciones de uso en el riego de los cultivos.

Según el sistema de las directrices de la FAO, la calidad presenta las siguientes características: el PH promedio de las aguas de los canales de riego es de 5.22 clasificándose como normales a moderadamente ácidos. Respecto a su salinidad tienen un bajo contenido de sodio, puede utilizarse en la mayoría de los cultivos y en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable clasificando a las aguas para ambos sistemas de riego como C1.

De acuerdo a las restricciones de uso para el riego por superficie, el grado de restricción de la calidad del agua de los canales de riego es de ligera a

moderada para el sistema Chullpa Loma y ninguna restricción de uso para las aguas del sistema Parajullqui. En la clasificación de aguas de riego según el contenido de boro, las aguas de los sistemas se clasifican como excelentes para el uso en el riego sin restricción alguna en toda el área productiva de la cuenca.

De acuerdo a los resultados de análisis de aguas para el riego, los elementos pesados como el plomo y el arsénico se encuentran en concentraciones muy por debajo de los límites permisibles para riego, por lo que no existe peligro de contaminación de las aguas por dichos elementos.

#### **Demanda de los recursos hídricos para el riego**

La determinación de la demanda hídrica, es uno de los factores de mayor importancia que está relacionado con la necesidad de riego de los cultivos bajo ciertas condiciones de precipitación y tipo de suelo.

Tabla 5. Información de la cedula de cultivos cuenca Azanaques.

Situación	Cultivo	Ciclo cultivo		Área	
		Meses	Tiempo	ha	(%)
Bajo riego	Haba	Sep-Mar	6.3	48.00	14.66
	Papa	Nov-Abr	5.5	39.00	11.91
	Alfalfa	Sep-Mar	7.0	97.00	29.63
	Maíz	Sep-Mar	5.5	26.00	7.94
	Trigo	Sep-Mar	4.5	18.00	5.50
	Oca	Nov-Abr	5.5	9.00	2.75
	Quinoa	Oct-Mar	5.5	12.00	3.67
	Cebada	Sep-Mar	5.0	15.00	4.58
	Otros	Nov-Abr	5.0	14.05	4.29
	Parcial				278.05
A secano	Papa	Oct-Abr	6.0	12.31	3.76
	Quinoa	Nov-Abr	6.0	10.00	3.05
	Cebada	Nov-Abr	5.0	2.00	0.61
	Alfalfa	Oct-Abr	7.0	25.00	7.64
	Parcial				49.31
	<b>Total</b>			<b>327.36</b>	<b>100.00</b>

La Tabla 5 muestra los resultados del levantamiento de cultivo realizado en la gestión 2008-2009, los principales cultivos son: alfalfa, haba, papa

(*Solanum tuberosum*), cebada, trigo, quinoa (*Chenopodium quinoa*) y maíz choclo (*Zea mays*).

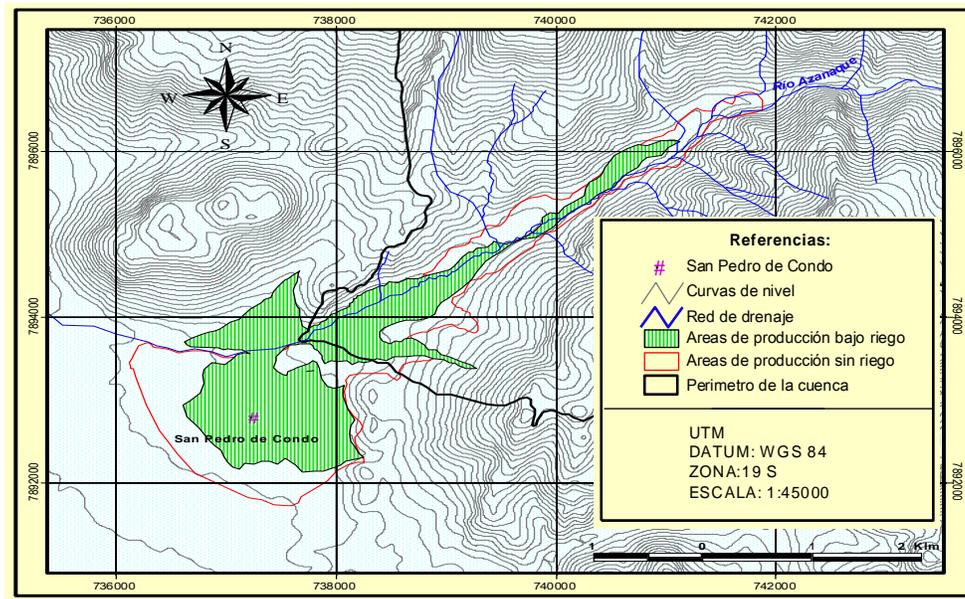


Figura 2. Áreas en producción de la cuenca en la gestión 2008-2009.



Figura 3. Unidades de evaluación de la cuenca en la gestión 2008-2009.

La demanda neta para el riego en el área productiva de la cuenca tiene valores mensuales requeridos en m<sup>3</sup> tomando en cuenta los factores estudiados como

el tipo de cultivo, área cultivada, coeficiente de cultivo (Kc) y el periodo de desarrollo de acuerdo a lo planteado por PRONAR (2003).

Tabla 6. Demanda hídrica para riego en la cuenca Azanaque, gestión 2008-2009.

Año	Mes	Requerimiento neto (m <sup>3</sup> )	Requerimiento bruto (m <sup>3</sup> )	Requerimiento doméstico (m <sup>3</sup> )	Requerimiento pecuario (m <sup>3</sup> )	Demanda total (m <sup>3</sup> )
2008	Jun	47491.2	199041.1	877.5	1822.7	201741.3
	Jul	71329.0	298947.8	906.8	1883.5	301738.1
	Ago	0.0	0.0	906.8	1883.5	2790.3
	Sep	0.0	0.0	877.5	1822.7	2700.2
	Oct	28755.6	120517.9	906.8	1883.5	123308.2
	Nov	137532.1	576412.8	877.5	1822.7	579113.0
2009	Dic	109971.9	460905.0	906.8	1883.5	463695.3
	Ene	180003.4	754414.8	906.8	1799.5	757121.1
	Feb	159067.7	666670.9	819.0	1701.2	669191.1
	Mar	108623.3	455252.8	906.8	1883.5	458043.1
	Abr	142660.5	597906.7	877.5	1822.7	600606.9
	May	147732.0	619161.7	906.8	1883.5	621952.0
Total		1133166.6	4749231.5	10676.6	22092.5	4782000.6

La Figura 4, muestra la oferta neta de la cuenca, requerimiento neto y bruto como también el caudal ecológico. Considerando la curva de demanda bruta para el riego, se diferencian cinco periodos distinguidos entre los meses de junio, octubre, febrero y abril, de los cuales dos corresponden al déficit hídrico comprendidos entre los meses de junio a agosto y octubre a febrero, el primero es únicamente al requerimiento de los cultivos de alfalfa.

El periodo de mayor déficit mostrado por la curva de requerimiento bruto, es de los meses de octubre y febrero debido a distintos factores, entre los cuales los de mayor incidencia son la evapotranspiración de los cultivos y principalmente las características de los sistemas de riego que se traducen en una eficiencia baja del riego.

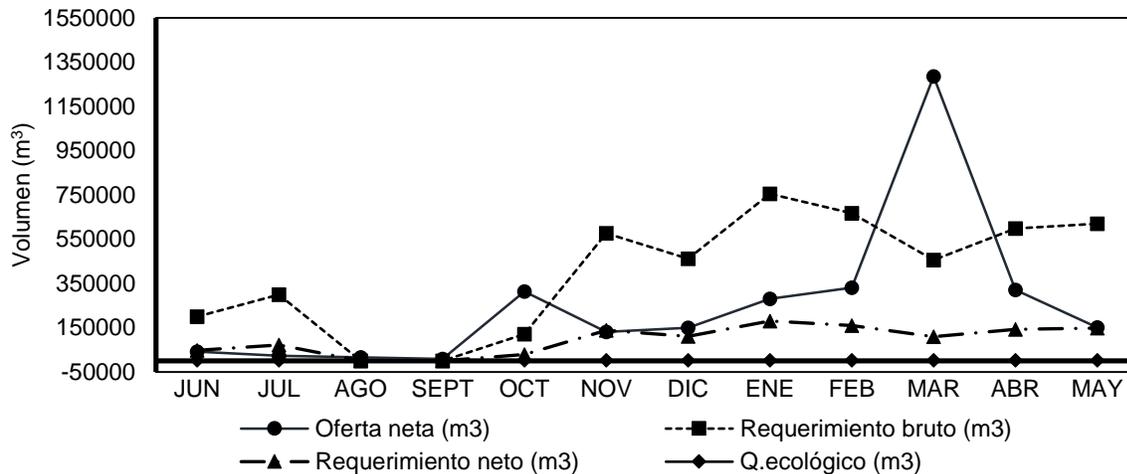


Figura 4. Relación de oferta y demanda hídrica para el riego.

La Figura 4 distingue dos periodos, donde la oferta hídrica es superior a la demanda bruta de los cultivos comprendidos entre los meses de septiembre a octubre y de febrero a abril, esto se debe en el primer periodo al bajo requerimiento de agua de los cultivos, el segundo periodo es atribuido a la elevada oferta hídrica de la cuenca correspondiente a la época húmeda del año donde las precipitaciones son intensas.

### Evaluación del riego parcelario

La superficie y otras características topográficas de las parcelas o unidades de estudio tuvieron un efecto en el desarrollo social de las familias, constituida por la repartición de los terrenos entre los descendientes y el desarrollo técnico de riego entre los regantes. La pendiente longitudinal promedio de las parcelas es de 0.62%, con valores diferenciados debido a la ubicación de las parcelas seleccionadas para el estudio que corresponden a unidades fisiográficas diferentes.

La nivelación de las unidades de evaluación, no es de gran importancia para la siembra del cultivo de alfalfa, este cultivo se desarrolla en los diferentes tipos de suelos de la cuenca, como en la parte de las laderas

este y oeste que presenta elevadas pendientes debido a su bajo requerimiento de agua por tratarse de un cultivo perene. Sin embargo, como el factor predominante para la uniformidad de distribución del riego en la parcela es el grado de uniformidad de la pendiente, se realiza trabajos de nivelación en la habilitación de las nuevas parcelas, obteniendo una infiltración más uniforme incrementando la eficiencia de los riegos y la facilidad en su manejo.

### Balance hídrico parcelario

Muestra los aportes de precipitación efectiva y riego, como también las pérdidas comprendidas por la evapotranspiración de cultivo y escorrentía total en base a la ecuación propuesta por PRONAR (2003). De acuerdo a la Figura 5, la gestión agrícola encierra considerables aportes de agua a través del riego en gran parte del ciclo de cultivo siendo el mes de septiembre con máxima aplicación de lámina de agua con 150.20 mm y el menor en el mes de febrero con 85.63 mm. A partir de la última aplicación de riego en el mes de febrero, los suelos aun presentan pérdidas considerables de humedad, no permitiendo su almacenamiento residual para la próxima gestión agrícola, por lo que es necesario una aplicación de riego previo a la siembra.

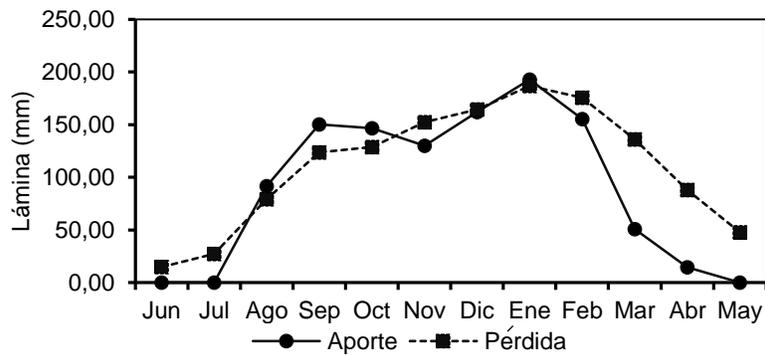


Figura 5. Almacenamiento y déficit del balance hídrico, unidad A (cultivo de haba).

En la Figura 6, se observa un almacenamiento de humedad de 58.48 mm en los meses de agosto y septiembre como resultado de los aportes de riego y precipitación, cubriendo de esta manera los requerimientos hídricos del cultivo en su fase inicial de desarrollo. El segundo periodo de los meses de

diciembre y enero tuvo un almacenamiento de humedad de 84.03 mm permitiendo el desarrollo del cultivo hasta el corte, resultando un periodo de déficit hídrico en el mes de noviembre, el cultivo extrae la humedad residual almacenada en los primeros riegos.

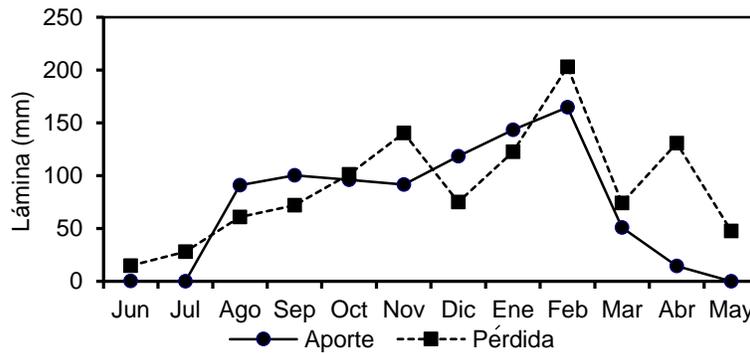


Figura 6. Almacenamiento y déficit del balance hídrico, unidad B (cultivo de alfalfa).

La Figura 7 muestra un almacenamiento de humedad de 4.74 mm en la fase inicial del cultivo debido a la aplicación del riego y precipitación, teniéndose déficit hídrico por todo el periodo restante, incidiendo sobre el desarrollo del cultivo que cumple su ciclo con la

humedad almacenada durante el mes de agosto y la humedad residual de la unidad, por su ubicación próxima a los canales principales del sistema de riego presenta una variación horizontal de humedad.

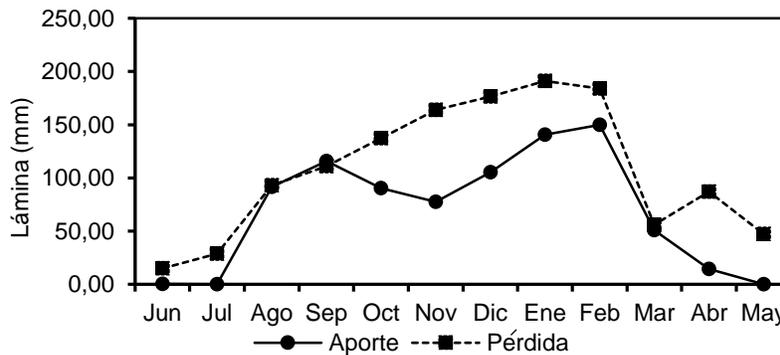


Figura 7. Almacenamiento y déficit del balance hídrico, unidad C (cultivo de trigo).

El balance de la unidad D, tiene considerables aportes de agua a través del riego en gran parte del ciclo productivo siendo el mes de máxima aplicación

septiembre con una lámina de riego de 102.29 mm y menor aplicación de 70.20 mm correspondiente al mes de enero (Figura 8).

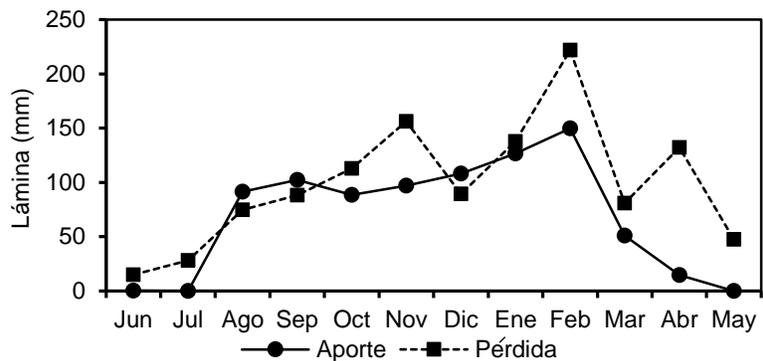


Figura 8. Almacenamiento y déficit del balance hídrico, unidad D (cultivo de alfalfa).

En la Figura 9, se observa un almacenamiento de humedad de 26.17 mm en los meses de agosto y septiembre como resultado de los aportes de riego y precipitación, pero que no cubre el periodo de

desarrollo del cultivo a excepción del mes de diciembre en la fase de crecimiento rápido, incidiendo en el desarrollo del cultivo que se encuentra en estrés hídrico durante la mayor parte de su ciclo.

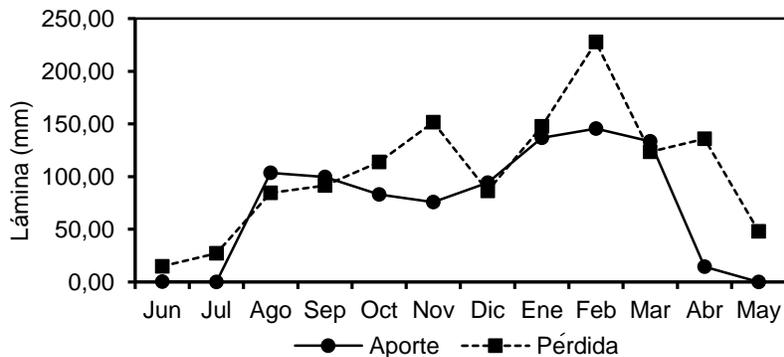


Figura 9. Almacenamiento y déficit del balance hídrico, unidad E (cultivo de alfalfa).

Los balances hídricos de cultivo tienen considerable relación entre los aportes y pérdidas, pero también presentan marcadas épocas de déficit hídrico para el normal desarrollo de los cultivos. Cada una de las unidades de análisis tiene características propias, las cuales influyen de manera directa en el almacenamiento del agua por el suelo.

En el caso de los cultivos de alfalfa, estos fueron evaluados acorde a las características propias de las unidades correspondientes, como también del cultivo, a fin de observar sus efectos ante la aplicación del agua en el riego. La unidad E presentó mayores pérdidas en relación a las otras unidades, debido a la capacidad de retención del agua por el suelo y los periodos de riego aplicados en estas unidades.

**CONCLUSIONES**

El agua del río Azanaque y canales de riego, tienen un pH promedio de 5.22 clasificados como normales a moderadamente ácidos con un bajo contenido de sodio y boro, por lo que pueden ser utilizados sin restricción en la mayoría de los suelos y cultivos perteneciendo la clase C1. De acuerdo a los valores permisibles dados por el reglamento de contaminación hídrica de la Ley de Medio Ambiente (1333) para aguas de uso agrícola, el Cadmio y Zinc presentan valores mayores a los permitidos para el uso en riego.

Los suelos del área productiva, presentan dificultades en relación a la velocidad de infiltración, estos suelos tienen una velocidad de infiltración moderada a excepción de la unidad U2, U4 y U5 que tienen una

velocidad de infiltración rápida, como resultado se tienen suelos no aptos para el riego por superficie a diferencia de los suelos U1 y U3 que son óptimos para este tipo de riego.

De acuerdo al estudio hidrológico de la cuenca Azanaque, el caudal mínimo de estiaje del río es de  $0.003 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y el caudal máximo es de  $0.48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Con los datos de caudales observados, se tiene un caudal ecológico de  $10 \text{ l s}^{-1}$ , el cual es cubierto por el caudal mínimo registrado de  $0.00117 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . La demanda neta de los cultivos en el área productiva de la cuenca es de  $1133166.6 \text{ m}^3$ , y la demanda bruta es de  $4749231.5 \text{ m}^3$  formando periodos en los cuales la oferta hídrica de la cuenca no cubre este requerimiento de los cultivos.

De acuerdo a la relación de oferta y demanda hídrica, se observa que el volumen hídrico ofertado en la cuenca es menor en la mayor parte del ciclo de los cultivos a excepción del periodo comprendido entre los meses de febrero a abril donde la oferta es mayor debido principalmente a las bajas eficiencias de riego de los sistemas.

## BIBLIOGRAFÍA

PRONAR. 2003, Manual de uso, Vice ministerio de Desarrollo Rural Riego, Dirección general de Riego. La Paz, Bolivia.

PRONAR 2003. "Plan de Riego Bolivia 2002 - 2007". Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural; Vice ministerio de Desarrollo Rural y Riego y Programa Nacional de Riego. Bolivia.

Gurovich, L., 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. IICA (Instituto interamericano de cooperación para la agricultura). (ed) Texto LTDA., San José – Costa Rica. pp. 153, 191, 209, 214, 316; 433p.

SENAMHI (Servicio Nacional Meteorologica e Hidrologia), 2008. La Paz, Bolivia.

Artículo recibido en: 28 de febrero 2017

Aceptado en: 30 de mayo 2017