

## **LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ECOHIDROLOGÍA DEL HUMEDAL LAGUNA DE SONSO – VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA**

Bernal P. Juan\*; Vivas M. César\*; Flórez Pablo\*\*.

### **RESUMEN**

La importancia de los humedales, entre los ecosistemas del nuevo milenio para el planeta ha sido ampliamente reconocida por la convención Ramsar desde 1970. Este reconocimiento se fundamenta en la forma como los cambios en estos pueden afectar a las personas en las próximas décadas y las respuestas que pueden adoptarse a escala local, nacional o global para mejorar su manejo y contribuir así a la disminución de la pobreza. Recientemente se ha incorporado la necesidad de evaluar la relación existente entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales, sobre todo porque existen gran cantidad de ecosistemas que dependen de los aportes subterráneos para su sostenibilidad. El humedal Laguna de Sonso es un ecosistema ubicado en el Sur-Occidente de Colombia el cual ha sido impactado por diversas actividades antrópicas que han afectado su equilibrio ecológico. En la actualidad la presión sobre el recurso hídrico subterráneo por parte de la agroindustria azucarera ha motivado a que las

---

\* Fundación para el Saneamiento y Manejo de los Recursos Naturales – Samarena.

\*\* Grupo de Biodiversidad Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC.  
[fundasamarena@yahoo.com](mailto:fundasamarena@yahoo.com); [pablo-emilio.florez@cvc.gov.co](mailto:pablo-emilio.florez@cvc.gov.co)

autoridades ambientales evalúen la dinámica del humedal con respecto al aporte del acuífero adyacente. En ese orden de ideas se han llevado a cabo diversas actividades con el fin de validar un modelo conceptual y de flujo en inmediaciones del humedal. Hasta el momento se ha logrado evidenciar la relación existente en los descensos de nivel de la Laguna y los niveles freáticos, también con base a análisis hidroquímicos y de isotopos estables se ha observado los gradientes de flujo y las zonas de recarga. Una red de baterías piezométricas instaladas alrededor de la Laguna han permitido evaluar a través de la expresión de Darcy para flujos no lineales los volúmenes aproximados de recarga y descarga desde el Acuífero hacia la Laguna.

**Palabras claves:** Ecohidrología, intercambio acuífero-humedal, piezometría.

### ABSTRACT

Wetlands importance has been recognized by Ramsar convention (1970) like new millenium ecosystems. This recognizing is based by the possible impacts may affect people at next decades. Wetlands conservation can reduce poverty conditions, for that reason governments must make better its protection. Many investigations have been realized to assess the relationship between groundwater and surface water, particularly since there are many ecosystems that depend on groundwater contributions to sustainability. The Sonso Lagoon wetland located in the South-West of Colombia which has been impacted by various human activities that have affected their ecological balance. At present, the pressure on groundwater resources by the sugar industry has caused environmental authorities to assess the dynamics of the wetland with respect to the contribution of the adjacent aquifer. In that order of ideas have been carried out various activities in order to validate a conceptual model and flow in the vicinity of the wetland. So far evidence has been achieved in the relationship decreases level of the lagoon and ground water levels, also based on analysis of hydro chemical and stable isotopes was observed gradients of flow and recharge areas. A network of piezometric batteries installed around the lake has enabled the assessment through the expression of nonlinear Darcy flows for the approximate volumes of recharge and discharge from the Aquifer to the Lagoon.

**Work keys:** Ecohydrology, exchange aquifer-wetland, piezometry.

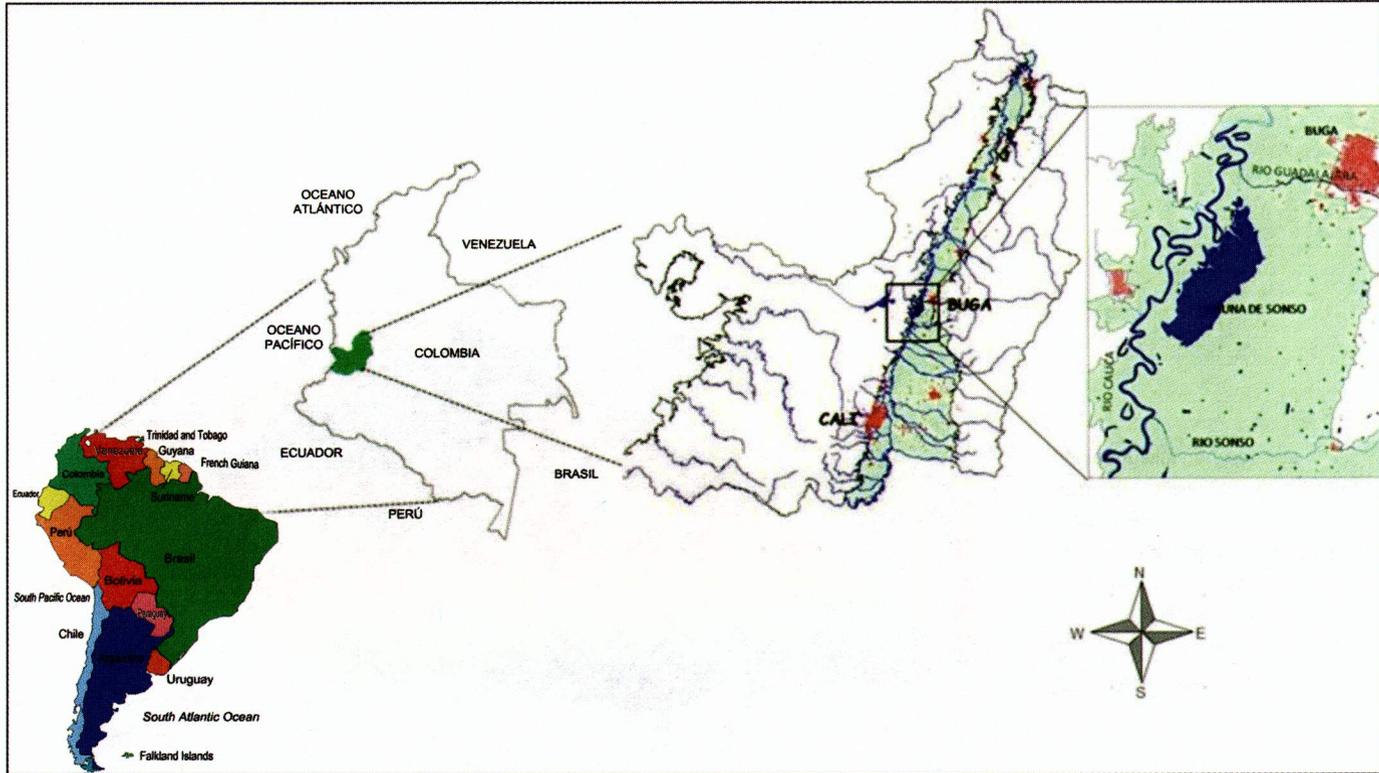
## 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de los efectos causados por el cambio climático, ha despertado el interés por evaluar los posibles impactos sobre los acuíferos (Scibek et Al 2005). En especial porque muchos ecosistemas dependen fuertemente de las aguas subterráneas. Esto ha conducido a que muchos investigadores desarrollen el concepto de ecosistemas dependientes de flujos subterráneos – GDEs . La integridad ecológica entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales es a menudo impactada por las actividades humanas, las cuales pueden reducir su conexión, alterar sus procesos de intercambio y crear fuentes de contaminación (Sophocleus 2000). Estos aspectos han motivado a que se evalúen los flujos base o flujos locales en relación con humedales y demás cuerpos de agua que dependen de ello para mantenerse, con el fin de regular las actividades antrópicas y/o extractivas en sus proximidades (Carrillo 2009).

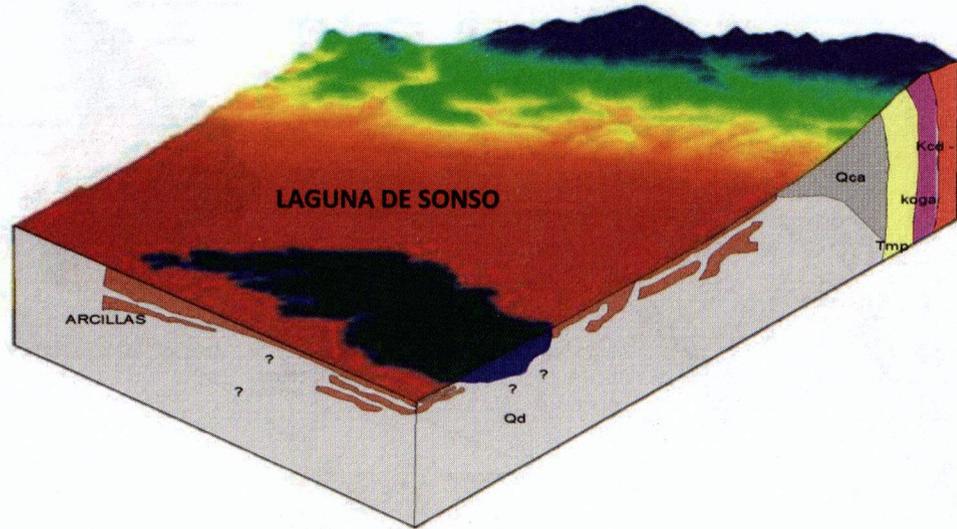
El humedal Laguna de Sonso se encuentra ubicado en el Departamento del Valle del Cauca (ver figura 1) al Sur Occidente de Colombia. Esta región se caracteriza por cultivos intensivos de caña de azúcar; lo cual ha ocasionado un fuerte impacto en los ecosistemas que tradicionalmente ocupaban el Valle geográfico del Río Cauca; las obras de drenaje, los diques y el bombeo para el riego de la caña de azúcar han hecho que humedales enteros sean desecados para dar paso al monocultivo de la agroindustria azucarera. Este humedal es el cuerpo lagunar más grande del sur occidente colombiano (745 Ha de espejo); Cuenta con 162 especies de aves nativas y además sirve de refugio para miles de aves migratorias que buscan zonas más cálidas para su reproducción (Hernández 2007). Cuenta con 18 especies de peces (PMAI 2005) que son la base primordial para el mantenimiento sociocultural y económico de muchas familias que viven de la pesca artesanal. Si bien es cierto que el proceso de eutrofización debido al arrastre de madurantes y nutrientes usados en la caña, y el taponamiento de sus conexiones naturales con otros cuerpos de agua han disminuido la salud de la Laguna, se ha observado que este ecosistema tiene una fuerte relación con las aguas subterráneas pues ni las obras anteriormente mencionadas, ni la incidencia del fenómeno Enzo (oscilación del sur) han producido un efecto negativo en los niveles de la misma.

## 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El valle del Río Cauca delimitado por las cordilleras Occidental y Central, se constituye en una gran unidad morfológica regional de planicie aluvial desarrollada por la dinámica del río Cauca durante el período cuaternario. La gran Fosa del Cauca se rellenó con los sedimentos provenientes de erosión de las cordilleras Central y Occidental los cuales fueron transportados principalmente por el Río Cauca y sus afluentes. En esta gran fosa del cauca de 3.400 km<sup>2</sup> de área y de 1.000 metros en su zona más profunda, se ha identificado un depósito aluvial denominado acuífero del Cauca con dos niveles acuíferos claramente localizados y de características bien definidas. El nivel superior o unidad A, de 120 ms de profundidad constituido por cantos de gravas, cantos rodados y arenas con intercalaciones de arcillas. El nivel inferior o unidad C, ubicado por debajo de 180 ms de profundidad constituido por capas de arenas, gravas y algunas veces cantos rodados (CVC,2000). Las perforaciones realizadas hasta el momento en inmediaciones del humedal han permitido constatar el material acuífero con presencia de tampones arcillosos discontinuos. No obstante existe cierta incertidumbre en algunas zonas del humedal y en el lecho de la Laguna en donde aún está por investigarse el material que constituye esa formación, (ver figura 2).



**Figura 1.** Localización del humedal Laguna de Sonso.



- $Q_d$  : Aluviones recientes.  
 $Q_{ca}$  : Conos Aluviales.  
 $T_{mp}$  : Areniscas, conglomerados y unidades de tobas dacíticas.  
 Koga: Anfibolitas y Gabros no diferenciados.  
 Kcd-t : Batolítico de Buga. Cuarzodiorita/tonalita hornblendica.

**Figura 2.** Formación Geológica de la cuenca de drenaje de la Laguna de Sonso.

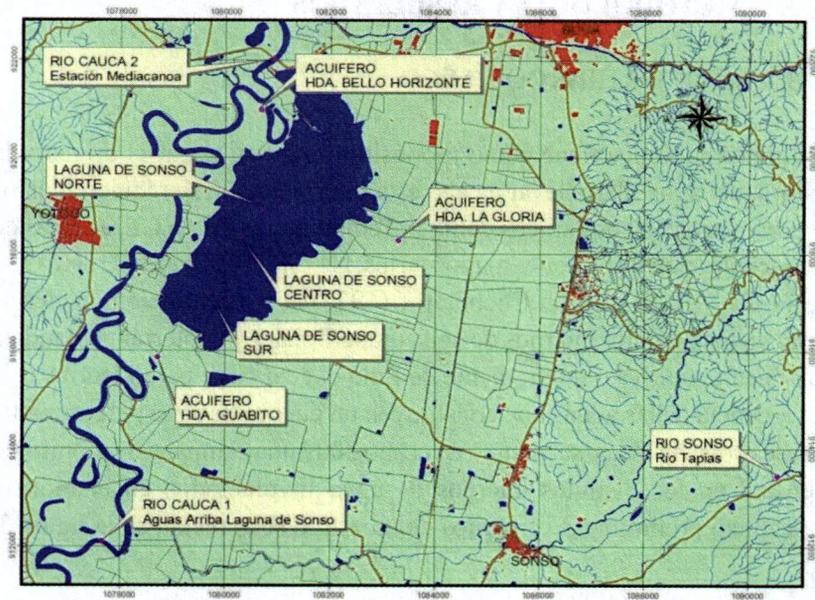
### 3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### 3.1. MODELO HIDROQUÍMICO

La hidroquímica tiene como propósito principal, trazar el origen y la historia del agua. Para llevar a cabo esta interpretación se requieren datos de parámetros fisicoquímicos como la Temperatura, pH, la CE, además de la concentración de los iones mayoritarios: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Según Cheboratev (1955) la concentración de ciertos iones en los distintos cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) indica una línea evolutiva o un gradiente de flujo el cual sirve para identificar la procedencia de las aguas que constituyen un cuerpo de agua determinado. En ese orden de ideas, se planteó en el año 2009 una campaña de monitoreo mensual en los distintos cuerpos de agua involucrados en el modelo conceptual preliminar. Los puntos de muestreo se aprecian en la figura 3.

#### 3.2. MODELO ISOTÓPICO.

Cuando se evapora agua del mar, gran parte del vapor marino se mueve hacia mayores latitudes y altitudes, donde se enfría, desciende y se condensa, para posteriormente precipitarse en los océanos. Otra parte del vapor se dirige a los continentes donde precipita formando diferentes formas de agua superficial y subterránea. En este recorrido atraviesa diversos procesos que involucran cambios de presión y temperatura, sufre cambios de estado que modifican la composición isotópica de sus elementos constitutivos, y es por esta razón que dichos elementos son utilizados para estudiar la historia y la trayectoria del agua. Los nucleídos más utilizados para estos fines son los isótopos estables que conforman la molécula de agua, el Oxígeno-18 (<sup>18</sup>O) y el Deuterio (<sup>2</sup>H). (Rhenals 2009). La utilización combinada de la química tradicional con análisis isotópicos en las aguas subterráneas ha mostrado ser de mucha utilidad para el entendimiento de la dinámica de sistemas hidrogeológicos. Para el estudio de isótopos estables se procedió a muestrear en los mismos puntos y fechas en que se realizó el muestreo para análisis hidroquímico.



**Figura 3.** Puntos de monitoreo hidroquímico.

### 3.3. PIEZOMETRÍA

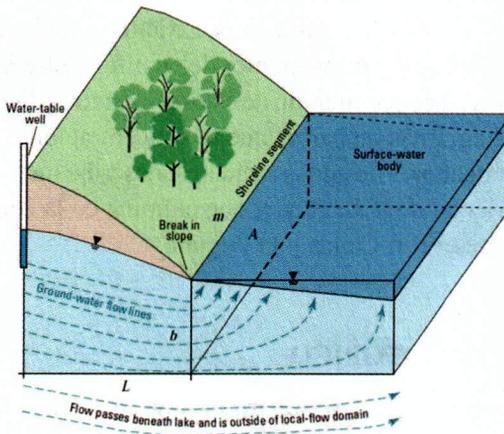
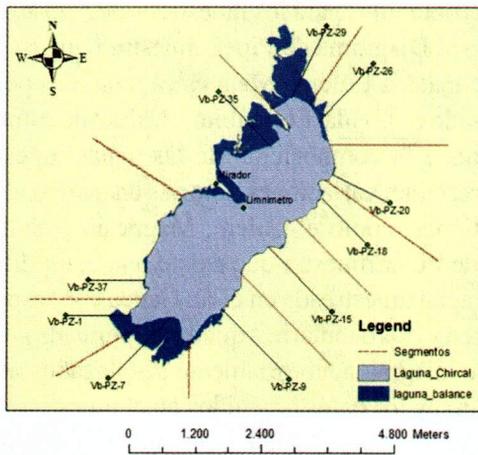
Para verificar el comportamiento hidráulico e identificar la trayectoria de las líneas de flujo hacia o desde la Laguna, se diseñó y se construyeron dos líneas de baterías piezométricas en paralelo al borde del espejo lagunar, alrededor de la Laguna. Cada batería cuenta con dos piezómetros de 10 y 6 metros respectivamente; esto con el fin de observar las oscilaciones del nivel freático en cercanías de la superficie y en posiciones más profundas. En total son 35 piezómetros de dos pulgadas para monitoreo de niveles y cinco piezómetros de cuatro pulgadas para muestreo de calidad. Las cuarenta unidades están siendo monitoreadas desde Junio de 2009.

### 1.4. MODELO DE FLUJO NETO

El método de análisis de flujo neto, a menudo llamado “aproximación de Darcy” es probablemente el método más usado para cuantificar el flujo entre aguas superficiales y aguas subterráneas. Especialmente en grandes sistemas lagunares o a escala de cuenca (Rosenberry 2008), Ver figura 5. La expresión de Darcy para flujos no lineales está dada por:

$$Q_i = \sum_{i=1}^N K(m * b) \frac{(h_1^2 - h_2^2)}{2L}$$

Donde  $h_1$  y  $h_2$  representan las cabezas hidráulicas entre el piezómetro y el cuerpo de agua,  $A$  representa la sección transversal de flujo entre cada cuerpo de agua,  $K$  es la conductividad hidráulica y  $L$  la longitud entre cada piezómetro y el cuerpo de agua. La longitud del borde de segmento  $m$ , es multiplicada por el espesor efectivo del acuífero  $b$ , para determinar el área  $A$ , de un plano al que la línea de borde atraviesa cuando el agua pasa o sale del cuerpo de agua.



**Figura 4.** Espaciamiento y distancia de piezómetros a un cuerpo de agua (modificado de Roseberry, 2008).

### 3. Resultados

Se presentan algunos resultados parciales de la investigación. Es necesario aclarar que se continúa con un proceso de calibración y validación de los resultados y que los mismos son hasta ahora el insumo inicial para precisar a través de un modelo de flujo (Visual Transin) el comportamiento del sistema hidrológico.

#### 4.1 MODELO HIDROQUÍMICO

Los resultados obtenidos para los muestreos de Agosto a Noviembre de 2009, de acuerdo al Diagrama de Piper, muestran que en general, el agua es de tipo Bicarbonatada Cálcico Magnésica, con excepción del pozo de monitoreo localizado en la Hda. El Guabito, clasificada como Bicarbonatada Magnésica. Aunque la composición de las aguas muestreadas son del mismo tipo, se presentan variaciones notorias en cuanto al mayor o menor contenido de cationes, como el Calcio, Magnesio y Sodio. (Ver figura 5). El diagrama de Piper muestra que existe una clara diferencia entre la composición del agua muestreada en el río Cauca con respecto a la laguna, pozos de monitoreo y ríos tributarios, que es identificada por la localización de los puntos en el diagrama, notoriamente desplazados unos de otros. De acuerdo al diagrama y los datos obtenidos en el muestreo, la composición del agua en los ríos Sonso y Guadalajara, pueden ser el resultado de una mezcla producida por la interacción de los ríos con el acuífero, considerando la posible conexión hidráulica entre ellos. Lo anterior indica la posibilidad de una mezcla de las aguas provenientes del acuífero, que a su paso por la laguna disminuyen la concentración de estos parámetros. De igual forma se observa en los diagramas de barras que la concentración de bicarbonatos que son iones indicadores de aguas recientes, describe un gradiente que va desde la zona oriental de la Laguna y que culmina en la zona del acuífero comprendida entre el Río Cauca y la Laguna.

#### 4.2 MODELO ISOTÓPICO

En términos generales, los registros isotópicos permitieron constatar varias tendencias. Por ejemplo, el Río Cauca no evidencia ser un aportante ni al acuífero ni a la Laguna al menos para este periodo. Cada sector del acuífero muestreado, registra un origen o por lo menos una edad del agua

que lo hace diferente para cada punto. Por otra parte se tiene una similitud en la marcación isotópica en las aguas del Río Guadalajara y el punto del acuífero muestreado en la hacienda Bello Horizonte, esto se evidencia dado que en esta zona se observa una estratigrafía compuesta por abundante arena y grava que permite un intercambio rápido entre cuerpos de agua.

Si bien es cierto que una diferencia de una unidad entre marcaciones isotópicas puede indicar aguas con una proveniencia altitudinal distinta, se tiene que el agua retenida en medios porosos y/o rocas también puede alterar la marcación isotópica que registre un cuerpo de agua en particular. Para el caso del Río Sonso que se encuentra en el sector sur de la cuenca de drenaje y que inicialmente se estimó como una posible zona de recarga de los flujos locales hacia la Laguna, se tiene una amplia diferencia respecto a la zona de registro en el costado oriental de la Laguna. Es decir los flujos locales no provienen de ese sector.

### **4.3 PIEZOMETRÍA**

Los registros de los niveles freáticos monitoreados desde Junio de 2009, han permitido entender el comportamiento de las líneas de flujo hacia la Laguna. En particular porque se ha logrado identificar zonas de recarga que son compatibles con la topografía del terreno; es decir el trazado de las isopiezas constituyen una réplica de las curvas de nivel. Ello se hace importante en tanto que se pueden delimitar esas áreas como zonas de amortiguamiento y protección. Ver figura 6.

### **4.1 MODELO DE FLUJO NETO**

La implementación de este procedimiento ha servido para constatar los aportes desde y/o hacia la Laguna. Las diferencias en cabezas hidráulicas permiten evidenciar direcciones de flujo. Hasta el momento se conoce de manera aproximada la geometría de los primeros diez metros del acuífero adyacente al humedal, con algunos vacíos de información. De igual forma sólo se tiene un solo dato de conductividad hidráulica horizontal el cual se generalizó para toda el área de estudio. Los espesores del acuífero para cada segmento se asignaron de acuerdo al material permeable encontrado en las perforaciones. En la tabla 2 se observa un cálculo preliminar de los caudales subterráneos de entrada y salida en la Laguna.

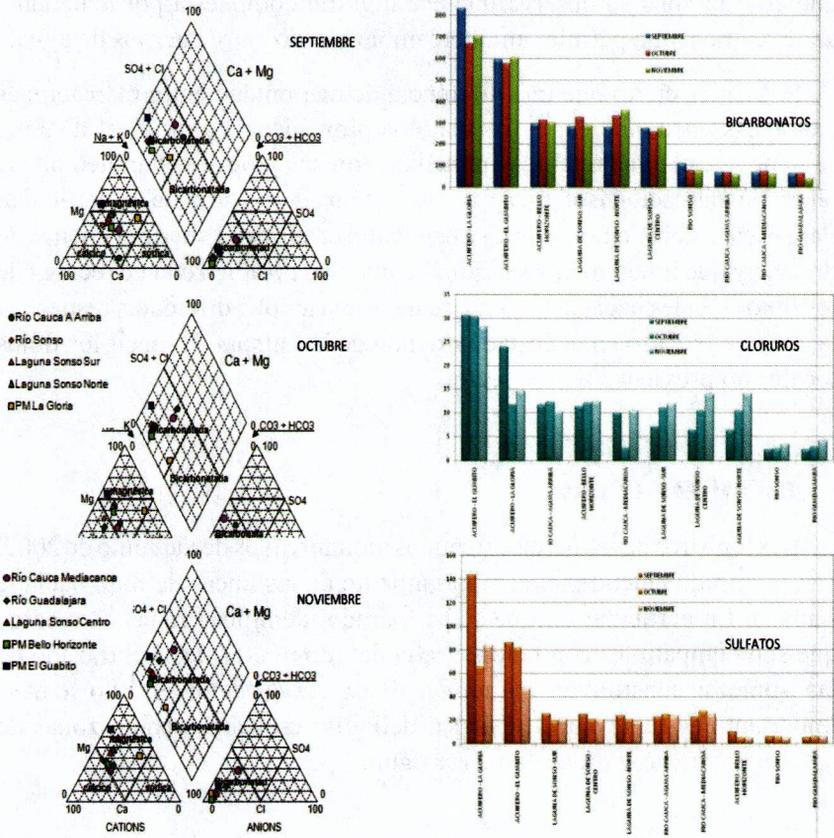


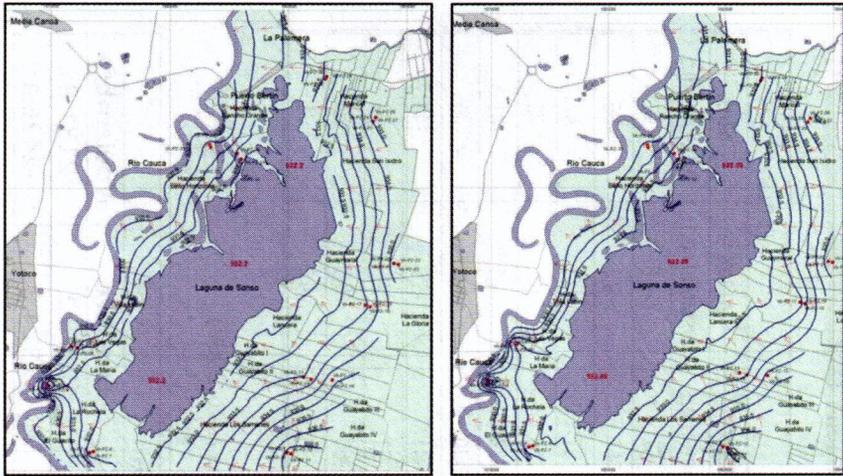
Figura 5. Diagrama de Piper y Concentración de los principales aniones.

**Tabla 1.** Registros isotópicos de Deuterio y Oxígeno 18.

ESTACION	Agosto		Septiembre		Octubre	
	$\Delta 18o\%$	$\delta 2H\%$	$\Delta 18o\%$	$\delta 2H\%$	$\Delta 18o\%$	$\delta 2H\%$
	(VSMOW)+0,3	(VSMOW)+0,1	(VSMOW)+0,3	(VSMOW)+0,1	(VSMOW)+0,3	(VSMOW)+0,1
RÍO CAUCA - AGUAS ARRIBA	-10,2	-70	-9,8	-67	-9,6	-67
RÍO CAUCA - MEDIACANOA	-10	-70	-9,7	-67	-9,6	-66
RÍO SONSO	-10	-67	-9,7	-67	-9,9	-67
RÍO GUADALAJARA			-10	-70	-10,3	-70
LAGUNA DE SONSO - SUR	-6,4	-53	-3,6	-39	-4,1	-41
LAGUNA DE SONSO - CENTRO	-5,9	-51	-3,7	-40	-4	-40
LAGUNA DE SONSO - NORTE	-5,7	-50	-3,9	-41	-3,9	-40
ACUÍFERO - BELLO HORIZONTE	-10,1	-70	-10	-71	-10,3	-72
ACUÍFERO - LA GLORIA	-9,9	-70	-8,8	-65	-8,5	-63
ACUÍFERO - EL GUABITO	-9,7	-71	-9,4	-70	-9,8	-71

**Tabla 2.** Caudales de intercambio Acuífero – Laguna (año 2009).

Caudal (m <sup>3</sup> /día)	Balance Mensual 2009-II					
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Descarga	2301.6	2182.4	2182.4	2165.1	2179.1	2131.8
Descarga	-1761.8	-1761.8	-1981.9	-2052.5	-2324.3	-2426.1



**Figura 6.** Comportamiento de niveles piezométricos.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Esta es la primera etapa de una investigación que pretende involucrar cada uno de los componentes del sistema que intervienen en la sostenibilidad eco hidrológica del humedal Laguna de Sonso. En particular se busca determinar la influencia del descenso de los niveles freáticos en relación con los niveles ecológicos en la Laguna. Los registros y mediciones hasta ahora analizados han permitido identificar zonas de recarga, líneas de flujo y las variaciones estacionales de los niveles freáticos.

El balance hídrico planteado ha permitido establecer que la Laguna de Sonso recibe una descarga promedio desde el acuífero adyacente cercana a  $1.5 \text{ m}^3/\text{seg}$  proveniente principalmente desde el costado Oriental y Sur de la Laguna, lo cual representa un 36% de los aportes en caudal hacia la Laguna, la precipitación representa un 49% y el aporte por los tributarios un 13%; estos datos fueron estimados para un periodo seco en donde los aportes del Río Cauca no fueron significativos debido a los bajos niveles registrados.

Los análisis hidroquímicos para las cuatro campañas de muestreo en el mismo periodo seco permitieron identificar dos frentes de descarga desde el acuífero a saber: la primera corresponde a la dirección de flujo

Sur-Norte que corresponde a la trayectoria natural del Acuífero regional del Valle del Cauca y la segunda desde la zona Oriente-Occidente que corresponde a la recarga de flujos locales provenientes de las estribaciones de la Cordillera Central.

El modelo isotópico preliminar muestra que los cuerpos de agua que intervienen en el hidrosistema corresponden a una misma edad, no obstante se pueden evidenciar similitudes en las marcaciones isotópicas para los meses de septiembre y octubre entre el Río Guadalajara y el costado Norte del acuífero adyacente a la Laguna. Este resultado identifica una zona de recarga hacia el acuífero hasta ahora desconocida dado que siempre se planteaba la posibilidad que la recarga de los flujos locales provenía desde la cuenca del Río Sonso al sur de la Laguna.

## 6. REFERENCIAS

- Asoyotoco (2007). *Plan de manejo ambiental integral Humedal la Laguna de Sonso Municipio de Guadalajara de Buga..*
- CVC (2000), *Plan de Manejo para la Protección de las Aguas Subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Calvachi & Galindo (2009). *Lineamientos para el manejo y monitoreo de humedales*. Bogotá, Colombia: CAR.
- Carrillo et al (2007). Response of the interaction between groundwater and other components of the environment in Mexico. *Environmental Geology*, 10.
- Gasca, D., & Ross, D. (2009). The use of wetland water balances to link hydrogeological processes to ecological effects. *Hydrogeology journal*, 17, 115-133.
- Gutiérrez & Gómez (2005). *Determinación de objetivos de conservación y elaboración de un mapa de zonificación preliminar para la Laguna de Sonso*. Cali, Colombia: CVC.
- Hernández, M. F. (2005). *Estudio de la calidad del agua y estado trófico de la Laguna de Sonso*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Mistch, W., & Gosselink, J. (2007). *Wetlands*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Son.
- Ponce & Chaux.(2003). Análisis jurídico sobre categorías regionales de áreas protegidas. Instituto Alexander Von Humboldt, Bogotá.

- Ramsar, S. D. (2007). *El manejo de las aguas subterráneas: Lineamientos para el manejo de la aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales* (3 ed., Vol. 9). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.
- Randall, C. (2000). *Groundwater hydraulics and pollutant transport*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Rhenals, R. (2007). *Validación del modelo hidrogeológico del Occidente Antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidrogeoquímicas*, Tesis de maestría. Posgrado en ingeniería de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.
- Rosenberry, D. (2008). *Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water*. Reston, Virginia, USA: U.S. Geological survey.
- Santa, D. (2009). *Identificación de interacciones hidrológicas entre el humedal ciénaga Colombiay el acuífero libre del bajo Cauca antioqueño mediante la utilización de técnicas hidroquímicas*, Tesis de Maestría. Posgrado en ingeniería énfasis ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia
- Scibek. (2006). Groundwater-surface water interactions under scenarios of climate change using a high resolution transient model. *Journal of hydrology* , 333, 165-181.
- Sophocleus, M. (2000). Interaction between ground water and surface water. *Hidrogeology journal* , 10, 52-67.