Consideraciones sobre la calidad del agua para riego en el embalse Bío de la provincia de Holguín

INTRODUCCIÓN

Gran parte del impacto ambiental de la agricultura bajo riego está ligado al manejo del balance del agua y las sales. Esto incluye tanto la minimización de la cantidad de agua requerida para eliminar la sal de la zona radical y del área de tierra necesaria para almacenar la sal en forma temporaria o definitiva. Un buen manejo ha demostrado ser una actividad difícil. Es posible introducir varios mejoramientos en las prácticas agronómicas y el riego dependiendo del tipo de salinidad y de la causa de la acumulación de sales a niveles peligrosos en la zona radical. La experiencia en otros lugares donde hay efectos negativos importantes causados por el riego con aguas salinas o ricas en sodio indica que son necesarias intervenciones de larga duración para equilibrar el balance del agua y las sales.[1]

Cuando se va a utilizar el agua para riego, se debe de tener en cuenta limitaciones de uso como: el contenido de sales en el agua, el tipo y la velocidad de infiltración del suelo, la toxicidad de iones específicos y otros efectos. Fundamentalmente porque el contenido de las sales solubles totales (SST), (reportadas por algunos autores como sales disueltas totales) y la toxicidad de los iones específicos, pueden reducir la disponibilidad de agua en las plantas, afectando su rendimiento y acumulándose en los cultivos en concentraciones elevadas causando daños o reduciendo su productividad, principalmente en los cultivos más sensibles, así como su utilización para el consumo humano. El empleo de esta agua para el riego depende no solo del tipo y contenido total de sales, sino en la distribución en que la misma se encuentren.[2]

En la actualidad existen varios métodos de evaluación del agua para el riego desde el punto de vista de la salinización y toxicidad en los cultivos.[3-7]

En la práctica mundial se recomienda como solución

Resumen / Abstract

La calidad del agua para riego es un aspecto vital para el logro de cultivos con buena productividad y la conservación de los suelos, entre otros aspectos. En el agua del embalse Bío, ubicado en la provincia Holguín, se han reportado elevados valores, principalmente de sales y del ión cloruro. En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua en tres puntos del embalse Bío, según los indicadores de diferentes métodos para su uso en riego. Mezclando agua del embalse Bío con agua dulce en relación de 1:3, se logra un agua adecuada para el riego.

Palabras clave: calidad del agua, embalse, presa, riego, toxicidad del agua

Water quality for irrigation is important for a good productivity of cultures and conservation of the soil, among others aspects. In the water from the Bío dam, in Holguín City, high values of ion chloride and total soluble salt concentration have been reported. In this work the water quality of the Bío dam was evaluated with indicators of different methods for its use as irrigation water. Mixture of fresh water with Bío dam water in a proportion of 1:3 gives adequate water for irrigation.

Keyword: water quality, reservoir, dam, irrigation, water toxicity

Ing. Leandro Aguirre Ruíz, Ingeniero Agrónomo, Especialista Jubilado en Recursos Hidráulicos, Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín, Carretera Central Km 2½, Holguín, Teléfono (024) 422833Echeverría"
MSc. Caridad Ramos Alvariño, Ingeniera Química. Master en Ciencias del Agua. Investigador Auxiliar, Biotecnólogo de 2do nivel, Jefa del Dpto. de Estudios sobre Contaminación Ambiental del Centro de Investigaciones del Ozono perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Ave. 25 y calle 158, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. Apartado postal 6412. Teléfono 271 8897 FAX 208 0497. Correos: deca@infomed.sld.cu, caridad.ramos@cnic.edu.cu,

alternativa más común, para esta situación, mezclar las dos aguas y así disponer de un mayor volumen, pero hay que tener en cuenta que la mezcla de agua no disminuye el total de las sales, pero puede permitir el riego de un área mayor.[5]

El Complejo Hidráulico Canasta - Bío es una de las obras del Esquema Hidráulico del año 1976, formado por las presas Protesta de Baragüá y Bío y el Canal Magistral Canasta - Bío, sirve de unión entre ambas presas y hacia los Canales Magistrales: Bío - La Rioja y Bío - Cauto. La presa Protesta de Baragüá regula las aguas del río Cauto, comenzando su explotación a partir del año 1980, concebido trasvasar agua hacia la presa Bío y desde ésta al sistema de riego Urbano - Cristino - Maceo de la provincia de Holguín. La presa Bío comenzó a almacenar a partir del año 1989, siendo su objetivo derivar a gravedad las aguas dulces procedentes de la presa Protesta de Baraguá y mezclarla con la almacenada en la presa, transportarla hacia el canal Bío - La Rioja y de esta forma disminuir la concentración de sales que se almacenan en la presa Bío. El canal Canasta - Bío se comunica a través de un arroyo con el embalse Bío. En la actualidad la presa Bío realiza sus entregas por el desagüe de fondo hacia el río Cauto, donde es captada por las estaciones de bombeo 20 Rosas, Algodones e Ingenio Viejo, hacia los sistemas de riego en explotación.[6-8]

El gran reto consiste en disminuir las concentraciones elevadas del ion cloruro y de las sales solubles totales cuando el embalse se encuentra con volúmenes embalsados por debajo de los 30 hm3 (el 44 % de su capacidad de almacenamiento); estas concentraciones de sales pasan al río Cauto pudiendo llegar esta afectación hasta la Presa Cauto el Paso en la provincia de Granma. Este embalse no puede realizar entregas cuando su almacenamiento se encuentra cercano a los 200 hm3 por la alta salinización y toxicidad de sus aguas, para diferentes cultivos.

En el presente trabajo se analizan diferentes aspectos relacionados con la salinidad y toxicidad por el ion cloruro del agua en el embalse Bío de la provincia de Holguín y su posible solución para su uso en el riego.

ANTECEDENTES

La salinidad del río Bío antes de la construcción del embalse

Del embalse Bío se conocía que la salinidad y la toxicidad del agua del río Bío, el cual aumentaban su concentración durante el período seco ya que la alimentación de las aguas freáticas en los límites de las laderas del valle se efectúa a costa de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas y de las aguas de riego, y en la zona de la terraza del cauce a costa del escurrimiento superficial.

Desde el punto de vista hidrogeológico el territorio del embalse fue poco estudiado y sólo existieron datos por el cierre de la presa; no siendo posible en aquella oportunidad dar una idea completa sobre el ascenso del nivel de las aguas freáticas y la inundación parcial de los terrenos vecinos al embalse por estas aguas, y por ende su comportamiento hidroquímico. Aunque se conocía que la profundidad de yacencía de las aguas freáticas en la zona de las vertientes del valle del río Bío, se hallaban entre los límites de 8,0 m - 20,5 m y en los límites donde se ubicaría el cierre de la presa entre 4,9 m - 14,0 m

Los cálculos realizados en aquel momento mostraron que el aumento del nivel del agua del río Bío después de la construcción del embalse influiría con un ascenso del nivel freático en el territorio vecino, debido a que en terrenos muy aptos a la filtración se produce un ascenso del nivel de las aguas freáticas, las que forman el lecho y las márgenes del embalse, lo que sumado a la difícil recirculación, intensa evaporación en esa área, así como la disolución de las sales de las rocas en la zona de altas concentraciones de sales en el agua subterránea, propiciaría un amplio desarrollo del proceso de salinización de los suelos con sales cloruradas.

Estas aguas se caracterizaron por una mineralización de 5,5 g L-1 (5 500 ppm). Su composición es clorurada - sódica o clorurada sulfatada - sódica, siendo el contenido de sales de cloruro muy variable en el intervalo de 0,68 a 10,0 g L-1 conociéndose que el ion cloruro o las sales formadas por su combinación de las más tóxicas para las plantas.

Mineralización de las aguas del río Bío y su influencia en el régimen de salinidad del embalse Bío

En la etapa de proyecto de la presa se realizaron cálculos sobre la composición salina de las aguas del río Bío en dependencia de la magnitud de los gastos de agua en diferentes períodos del año, para conocer su posible comportamiento en el embalse. Desde el año 1968 se analiza las características de la salinidad del río Cauto y sus principales afluentes, incluyendo el río Bío, analizándose el contenido del ion cloruro. Posteriormente en el año 1974 realizó un segundo estudio[9], donde se dan las características hidroquímicas de las aguas del río Bío, la distribución mensual del ion cloruro y de las SST, proporcionándose en el mismo solo valores máximos y mínimos, y algunas características generales. Un tercer trabajo[10] se realiza en el año 1977, sobre la mineralización de las aguas del río Bío, realizando observaciones de campo consistentes en toma de muestras y aforos del río durante el período seco, comprendido desde noviembre del 1976 a mayo del 1977. Los datos arrojaron que la mayor mineralización de las aguas del río Bío, se observaba durante el periodo de estiaje, cuando predominan los iones de sales fácilmente solubles (el ion sulfato, ion cloruro y el ion sodio), arrastrados de las rocas que yacen a gran profundidad y que afloran a la superficie y son arrastrados por el escurrimiento superficial hacia el cauce del río. Al aumentar los gastos de circulación del río, la mineralización del agua disminuye bruscamente, para gastos de 1 $m^3 s^{-1}$ las aguas presentan una concentración de sales de 1000 mg L^{-1}, disminuyendo para gastos mayores. Cuando los gastos son inferiores, a este valor, se aumentan

considerablemente la concentración de las sales y del ion cloruro, el cual participa en la composición en una proporción que esta comprendida entre el 40 y el 50 % de las sales totales, las que están representadas por los elementos siguientes: Ca^{2+}; Mg^{2+}; HCO_3^{+}; SO_4^{2+}; Cl^{-}; Na^{+}; K^{+}.[11,12]

Sin embargo debe señalarse que no se realizaron observaciones detalladas y prolongadas sobre la composición salina de las aguas del río Bío, ni estudios complementarios en la etapa de proyecto. No obstante, una elevada concentración de sales freáticas conllevará o un amplio desarrollo de los procesos de salinización de los suelos con sales cloruradas las cuales son las más tóxicas para las plantas.

El agua del río Bío en un año medio tendrá una concentración de sales de 900 ppm y un contenido del ion cloruro de 340 ppm. De presentarse un año medio seco de probabilidad del 75% dicha concentración de sales se elevará hasta 1300 ppm y los cloruros hasta 495 ppm.

Comportamiento del ión cloruro y de las sales solubles totales en el embalse Bío y en el río Cauto y en la Estación hidrométrica Salto Traviesa

La presa Bío se terminó de construir en el año 1989 pero prácticamente sin explotación por no entrar en paralelo la construcción de los canales Bío-Cauto y Bío-La Rioja y no terminarse el canal de Trasvase Canasta - Bío, haciendo que solo se almacenara agua de su propia cuenca y no tuviera compromiso de entrega. Posteriormente problemas constructivos relacionados con la estabilidad de la cortina en la zona cercana a la toma principal provocó que el embalse se mantuviera por medida de seguridad por debajo del volumen muerto, además de las afectaciones que se producían por la cola del embalse a partir de determinado nivel de almacenamiento, afectando viviendas y áreas de cultivos pertenecientes a la provincia de Santiago de Cuba.

Desde la etapa de proyecto se previó que los primeros años de explotación del embalse Bío para el riego sin estar concluido el canal Canasta - Bío, debía tenerse en cuenta la precaución correspondiente para que su utilización no provocara la salinización de los lotes regados. Con la entrega de agua dulce desde la presa Protesta de Baragüá hacia la presa Bío, se producirá la mezcla de estas dos aguas, mejorando considerablemente su composición química, pudiéndose utilizar las aguas de la presa Bío para el riego con mayor confiabilidad. También se conocía que con niveles de almacenamiento bajo del embalse, existía la posibilidad de que aumentaran los niveles de salinidad, pues una vez puesta en explotación la presa, las oscilaciones del espejo de agua durante el año, (del nivel normal al muerto), activarían las descargas de las aguas freáticas muy mineralizadas hacia el vaso del embalse, obteniéndose como resultado que la salinidad de las aguas del volumen muerto aumentaría la mineralización de las aguas cercanas al mismo.

Al inicio de la explotación del embalse, no se utilizó el control químico a través del muestreo sistemático de esta agua, sino dos años después de haberse terminado; tampoco se evaluó por los Agrónomos estos resultados, realizándose algunos estudios referidos a la cantidad de sales nocivas contenidas en el agua, y las normas de riego a aplicar.

DESARROLLO

Datos utilizados en la evaluación del agua para riego

Para evaluar la calidad del agua para el riego se analizaron los valores de una serie de 22 años, entre 1985-2007, de las determinaciones realizadas en los puntos de muestreos[13] siguientes:

- el embalse Bío, frente a la obra de toma de fondo (Pto. 1), de octubre del 1990 a agosto del 2007,
- la Estación de Bombeo de Salto Travesía (ubicada en la margen derecha del río Cauto, frente a la estación de Aforos de Salto Travesía en el río Cauto a 15 km aguas abajo de la confluencia del río Bío con el Cauto), desde febrero del 1985 a junio del año 2007,
- el río Cauto en el punto de la Presa Protesta de Baraguá, frente a la obra de toma que entrega, a unos 20 km. de río aguas abajo hasta la confluencia con el río Bío, (Pto. 3) de febrero del 1985 hasta abril del 2007.

En el esquema del complejo hidráulico Canasta - Bío, se aprecian los puntos de muestreo. (Esquema 1)

A los indicadores conductividad eléctrica (CE), ion cloruro (Cl-) y sales solubles totales (SST), de cada muestreo, se le calcularon los parámetros estadísticos. Se reportan el número de muestras analizadas (N) en cada punto (Tabla 1)

La calidad del agua para riego se evaluó por los métodos de clasificación siguientes: de Wilcox, el Coeficiente de Irrigación, de la Universidad de California, de Aceves y Palacio y el Control de Salinidad de Estados Unidos. [5-7]

RESULTADOS

En la tabla 1 se exponen los resultados del análisis estadístico de los indicadores determinados en los tres untos de muestreos.

El valor medio de la conductividad eléctrica en el embalse Bío lo clasifica como un agua altamente salina, en el intervalo de salinidad media y extremadamente salina, presentando un coeficiente de variación que indica que los miembros de la serie no se dispersan con significación del valor central. Los valores elevados de la conductividad eléctrica, indican indirectamente la presión osmótica de la solución del suelo en contacto con las raíces de las plantas, que ocasionan disminución en los rendimientos o pérdidas totales de las cosechas.

El valor del ion cloruro (Cl-) presenta una concentración media en el embalse con un intervalo que afecta di-

TABLA 1. Resultado de los parámetros estadísticos de los indicadores en los tres puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Variable estadística	CE µS cm^{-1}	Cl^- mg L^{-1}	SST mg L^{-1}
Embalse Bío (Pto.1) (N= 68)	Valor Medio ± DS	1351± 376	314 ± 110	778 ± 218
	Valor Mínimo y máximo	745- 2550	153- 664	408- 1380
	Coef. Variación, Cv	0,28	0,35	0,28
	Mediana	1320	298	746
E. Bombeo Salto Travesía (Pto. 2) (N= 88)	Valor Medio, X	1050 ± 349	191 ± 106	651 ± 190
	Valor Mínimo y máximo	462- 2080	46,15- 546,7	336- 1230
	Coef. Variación, Cv	0,33	0,56	0,29
	Mediana	950	156,2	595
Embalse Protesta de Baraguá (Pto. 3) (N= 88)	Valor Medio ± DS	696 ±111	102 ±22	443 ±71
	Valor Mínimo y máximo	359- 960	21- 163	153- 615
	Coef. Variación, Cv	0,16	0,21	0,16
	Mediana	696	103	442

Tabla 2. Comportamiento de la relación Cl-/SST en los diferentes puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Época del año	Relación Cl^-/SST (%)		
		Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
Embalse Bío (Pto.1)	Año	30,0	41,2	52,4
	Período Seco	30,5	41,4	52,4
	Período Húmedo	30,0	39,2	48,5
Estación Bombeo Salto Travesía (Pto. 2)	Año	13,7	29,8	46,0
	Período Seco	16,1	30,8	45,5
	Período Húmedo	13,7	29,8	46,0
Embalse Protesta de Baraguá (Pto. 3)	Año	4,0	27,0	50,0
	Período Seco	17,7	33,8	50,0
	Período Húmedo	4,0	19,4	34,4

rectamente a las plantas, ya que para un buen desarrollo vegetativo y altos rendimientos, la concentración máxima admisible debe de estar por debajo de los 175 mg L-1 A su vez se presenta un incremento en el coeficiente de variación lo que nos indica que existe una mayor dispersión entre los miembros de la serie. La concentración de las SST media es alta para el riego, cuyo valor admisible en el orden de los 500 mg L-1, sin embargo los valores máximos lo superan, para un coeficiente de variación de 0.28.

De la Tabla 1 se evidencia que en los puntos 2 y 3 los valores de CE, ión cloruro y de SST, son menores que los del punto 1.

A partir de una distribución uniforme y equitativa de los muestreos realizados, los resultados obtenidos en los periodos tanto en seco como el húmedo, ha permitido elaborar criterios del comportamiento de la relación Cl-/SST en el agua en los tres puntos de muestreo, como puede observarse en la tabla 2. De la misma se evidencia que en el punto 1 hay poca diferencia entre un periodo y otro. Se hace más evidente la diferencia en el punto 2 con un intervalo de 13 a 46 % y considerablemente diferente en el punto 3, con un intervalo de 4 a 50 %.

Comportamiento del ión cloruro y de las sales solubles totales en el embalse BÍO

El comportamiento del ión cloruro y de las SST se grafica contra el volumen embalsado en la presa Bío. Cuando el embalse disminuye su nivel, tiende hacia el volumen muerto, aumentando las concentraciones de las sales y de los iones cloruros (Fig. 1 y 2).

Figuras 1 y 2. Comportamiento del ión cloruro y de las sales solubles totales, contra los volúmenes embalsados en la presa BÍO, respectivamente

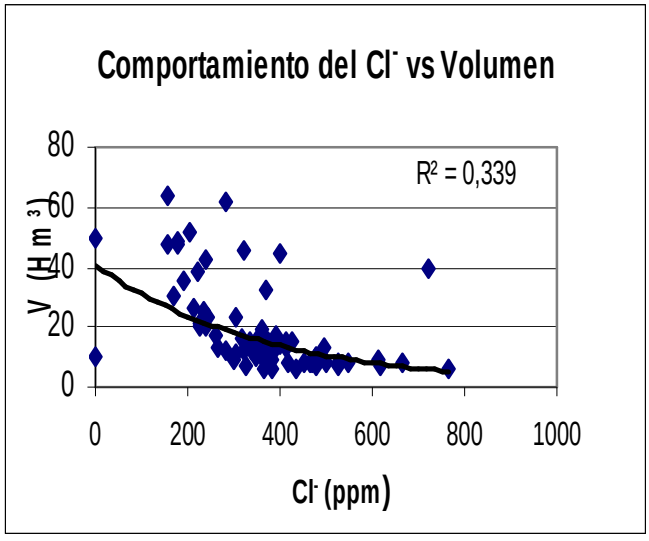

Figura 1

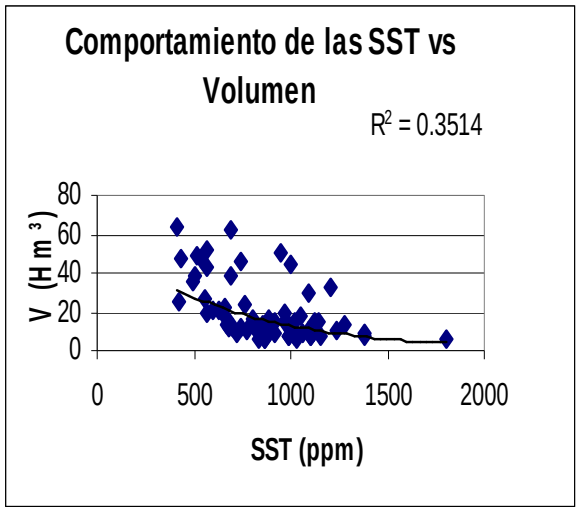

Figura 2

Aunque los coeficientes de regresión son bajos para ambas curvas (gráfico 1 y 2), las mismas definen con mucha claridad que por debajo de volúmenes almacenados de 30 hm3 los valores de concentración del ion cloruro y de las sales solubles totales se incrementan en un intervalo entre 1.5 y 2 veces, con respecto a los niveles más altos del embalse.

Resultado en la evaluación de diferentes indicadores del agua del embalse Bío para riego por los métodos siguientes:

Método del control de la salinidad USA. Las aguas altamente salinas, con conductividad eléctrica comprendida entre 745- 2550 µS cm^{-1} a 25 ºC. Deben de existir buenas condiciones de drenaje superficial e interno, debiéndose controlar la salinidad a través de monitoreos periódicos, y cultivar plantas muy resistentes a la salinidad. Desde el punto de vista del carbonato de sodio residual (CSR), esta agua es buena, con bajo contenido de sodio, pudiéndose utilizar sin que se esperen serias afectaciones en el desarrollo del vegetal. Solo plantas muy sensibles y algunos frutales serian dañados. Desde el punto de la toxicidad, el boro que es el único elemento que evalúa esta clasificación, considera su concentración tolerable para los diferentes cultivos. Debe usarse con mucha precaución para los riegos en el Valle del Cauto, debido a que las mayores extensiones de tierras cultivables con riego, son vertisuelos con mal drenaje superficial e internos en suelos pesados y salinos.

Método de Wilcox. Desde el punto de vista de la interpretación de los índices de concentración de sales solubles esta agua se clasifica como permisible, debiéndose utilizar con cierta restricción, principalmente a lo referente al suelo y las plantas. Con relación al por ciento de sodio soluble (PSS), es permisible, existiendo cierto peligro cuando se van a regar suelos de textura fina con alta

capacidad de campo, especialmente con mal drenaje. Puede ser empleada en suelos de textura gruesa o suelos orgánicos si existe buena permeabilidad. En correspondencia con el comportamiento de los índices de toxicidad, esta se presenta baja.

Método del Coeficiente de Irrigación. Según el análisis la salinidad a partir que la equivalencia del sodio sea menor que la del cloruro, el agua se encuentra en la frontera entre satisfactoria y no satisfactoria, considerándose en este trabajo como dudosa.

Método de la Universidad de California. A partir del contenido de sales solubles totales, esta agua se considera como regular, con limitaciones para su uso en el riego. Su utilización a partir del por ciento de sodio soluble, es buena, pudiéndose usar sin esperar serios perjuicios en el desarrollo vegetal. Con relación al carbonato de sodio residual y de la toxicidad la misma presenta buenas condiciones para su utilización.

Método de Aceves y Palacios. De las seis clasificaciones utilizadas, todas presentan en mayor o menor grado

limitaciones para su uso de forma directa en el riego, siendo altamente vulnerables en aquellos cultivos que son pocos resistentes a la salinidad y toxicidad; por lo anterior se debe tener en cuenta para su utilización, en que tipo de suelo se va a aplicar y las características que presenta el drenaje superficial e interno del mismo.

Se debe de tener en cuenta que en las áreas donde se utiliza esta agua, corresponden con la margen derecha de la cuenca del río Cauto en Holguín, donde los suelos son oscuros y pesados, fundamentalmente vertisuelos, con mal drenaje superficial e interno y con elevados índices de salinidad.

Como puede observarse en los resultados de las diferentes clasificaciones se obtuvo que el agua del embalse Bío está condicionada, debiéndose tener mucho cuidado para ser utilizada directamente. Por lo que el riego regular con el agua del embalse Bío, es posible realizarlo con un estricto control del laboratorio de calidad de agua, así como con un riguroso cumplimiento del régimen de riego y la correspondiente elección por los agro economistas de los cultivos a regar.

Posibilidad de dilución del ión cloruro y las SST en el embalse Bío

Los gastos promedios que circulan desde la presa Protesta de Baraguá por el río Cauto dependen de las demandas de los usuarios de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín y Granma y estos son variables en el tiempo, por lo general están entre 3 y 6 m^3s^{-1} y desde la presa Bío entre 1 y 2 m^3s^{-1} en condiciones normales, en los muestreos, con una relación en volumen de 1:3.

Si se analiza la calidad del agua (Tabla 1) para el riego del embalse de la presa Protesta de Baraguá, observamos que todos los indicadores presentan concentraciones bajas con coeficiente de variación de 0,16, lo que nos indica que la mayoría de los resultados de las muestras están cerca del valor central.

Al mezclarse las aguas de estos dos embalses se puede observar que la conductividad eléctrica disminuye con relación al agua de la presa Bío.

El agua monitoreada en la Estación de Salto Travesía (Tabla 1), disminuye la concentración media del ión cloruro del embalse en 1,64 veces, admisible para el cultivo, aunque se encuentra en la frontera de la tolerancia, lo que dependerá de la época del año en que se utilizará, el cultivo y el suelo. En el caso de las SST se aprecia una disminución del 17 % de los valores medios.

En todos los análisis realizados (Tabla 2) se observa que la relación Cl-/SST es alta en cualquier período, tanto en el seco como en el húmedo, estando las mejores relaciones en la estación de Salto Travesía, aunque los mismos todavía son elevados, debiendo estar en un rango máximo de un 25 %, acercándose bastante los valores medios obtenidos una vez mezcladas estas aguas.

A manera de ejemplo se expone el cálculo de una relación de gastos agua mineralizada / agua dulce

Para obtener la relación de agua dulce-agua mineralizada hasta una concentración predeterminada del agua de la mezcla, puede estimarse por las ecuaciones siguientes:

$(Cam\ Qam) = (Cas\ Qas) + (Cad\ Qad)$ ecuación 1

$Qam = Qas + Qad$ ecuación 2

donde:

Cam: concentración en el agua mezclada

Qam: gasto agua mezclada

Cas: concentración en el agua mineralizada

Cad: concentración en el agua dulce

$Qam/Qad = (Cad - Cas) / (Cam - Cas)$

Qad: gasto agua dulce

Qas: gasto agua mineralizada

Como las concentraciones son conocidas o asumidas se calcula la relación Qam/Qad

Con el valor de la relación se sustituye en la ecuación 2 y se obtiene los valores de Qad y Qas, deseados para las concentraciones asumidas.

Consideraciones finales

En la actualidad el agua del embalse Bío se puede mejorar realizando las entregas por el desagüe de fondo de la presa hacia el río Bío y mezclarlas con las que vienen de la Presa Protesta de Baraguá.

CONCLUSIONES

En el período comprendido entre los años 1968 al 1983, se determinó que la salinidad en el río Bío, está compuesta por sales cloruradas sódicas y cloruradas sulfatadas.

En el agua del río Bío las mayores mineralizaciones se producen durante el período seco, por el afloramiento a la

superficie del manto freático con sales cloruradas sódicas y sulfatadas sódicas.

De las investigaciones en el río Bío antes de la construcción del embalse, se conoció que al aumentar los gastos de circulación en el río, disminuía la mineralización bruscamente, con concentraciones de SST por debajo de 1000 mg/l , al disminuir los gastos por debajo de 1 m^3/s pueden alcanzar hasta 5 000 mg L^{-1}.

La relación de Cl- / SST en el río antes de la construcción del embalse, se mantenia en una proporción entre 40 - 50 %.

Una vez construido el embalse de la presa Bío y durante 18 años, las concentraciones del ion cloruro y de las SST en el embalse aumentaban a medida que los volumenes almacenados en la presa estuvieran por debajo de los 30 hm^3 .

La evaluación de la calidad del agua del embalse Bío para riego se clasifica como condicionada.

El agua del embalse de la Presa Protesta de Baragua presenta las concentraciones baja de todos los indicadores quimicos.

Con la mezcla del agua del embalse de la presa Bío y de la presa Protesta de Baragua se observa que la conductividad electrica disminuye, aunque todavia se encuentra en un intervalo de altamente salina, sin embargo el ion cloruro, disminuye en 1.64 veces su concentracion, con un 60 % y las SST en un 17 %.

En la totalidad de los analisis realizados en los tres puntos de muestreos seleccionados, la relacion Cl-/SST es alta para cualquier periodo, tanto en el seco como en el humedo, presentandose las mejores relaciones en la Estacion de Bombeo Salto Travesia.

Para disminuir las concentraciones actuales a 150 ppm del ión cloruro, debe incorporarse al embalse 3 volúmenes de agua dulce con relacion a la que se encuentre embalsada a la hora de realizar el trasvase.

La dilucion del agua del embalse Bío en la actualidad solo podra realizarse mezclandola con la del rio Cauto procedente de la presa Protesta de Baragua, previos volumenes prefijados previamente.

RECOMENDACIONES

No utilizar el agua del embalse Bío sin análisis previo. Mantener los muestreos químicos trimestralmente en el embalse Bío y en el río Cauto.

REFERENCIAS

1. **Descubrir el potencial del agua en la agricultura.** Capítulo 5. Alivio del impacto ambiental causado por el desarrollo de los recursos hídricos para la agricultura. Depósito de documentos de la FAO, 2003. http://www.fao.org. Consultado 17 diciembre 2007.
2. **AYERS, R.S. y Wescott, D.W. Water quality for agriculture. FAO.** Irrigation and drainage. No 29, Rev. Roma, 1989
3. **TROYANO F.** Reutilización de aguas salobres dentro del programa de ACUAMED para la aportación de nuevos recursos. Comunicación técnica. Libro CAP 1- 7. http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/pdfs-libro/CAP1-7.pdf. Consultada el 18 diciembre 2007.
4. **Riesgo del sodio en regadíos.** http://www.lenntech.com/espanol/irrigacion/Riesgo-sodio-en-regadios.htm. Página consultada el 18 diciembre 2007.
5. **Diagnóstico de aguas de riego.** http://www.infoagro.com/riegos/diagnostico_aguas.htm. Consultado 28 noviembre 2008.
6. **SÁNCHEZ, J.** Clasificación de las aguas de riego. GG-JSV-FT, enero, 2007. http://www.fertitec.com/PDF/Clasificacion y Uso de las aguas de riego.pdf. Consultada: 28 noviembre 2008.
7. **Palacios, V.O., ACEVES N. E.** Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para el riego agrícola. Colegio de Postgraduados. 1994.
8. **BOCHKOVA, I. y Bogonchiv, Y.** Memoria del Estudio Técnico Económico del Complejo Hidráulico Bío, Desarrollo Agropecuario del país. Empresa de proyectos e Ingeniería 14, 08 - 102 -A-2 Cáp. 1.4, Pág. 15 - 23. Archivo Provincial de la Empresa de Proyecto e Investigaciones Hidráulicas de Holguín.1979.
9. **BORCHOVA, I.** Memoria descriptiva general del C. H. Bío Empresa de Proyectos y Obras de Ingeniería 14, 08 - 102 A-3. Cáp. II - 3,3 pag.12. Archivo Provincial de la Empresa de Proyecto e Investigaciones Hidráulicas de Holguín, Cuba. 1980.
10. **GONZÁLEZ, M.** Informe sobre el análisis de la salinidad de las aguas en el río Bío para preparar el hormigón y valorar el grado de influencia de la agresividad del medio agua sobre el hormigón para el C.H. Bío. 08 - 102 A - 7. Archivo Provincial de la Empresa de Proyecto e Investigaciones Hidráulicas de Holguín, Cuba, 1985
11. **PEREJREST, S.** Cálculos económicos de C H Canasta - Bío, INRH, Holguín, Cuba, 1974.
12. **DONATAS, S.**, Análisis de la Salinidad del río Bío, Informe 08 - 102 A - 4, EPOI 14 Archivo Provincial de la Empresa de Proyecto e Investigaciones Hidráulicas de Holguín, 1977.
13. Datos de Archivos del Laboratorio de Calidad de las Aguas Holguín. Consultado: septiembre 2007.

Recibido: enero del 2008
Aprobado: febrero del 2008