

## **Modelación hidrológica del Distrito de Riego Arenal Tempisque, Guanacaste (I Etapa)**

**Arias M. F\*., Pineda N\*\***

\* Calidad de Aguas, Proyecto LARED. Universidad Técnica Nacional, Sede Guanacaste. [mfarias@utn.ac.cr](mailto:mfarias@utn.ac.cr)

\*\* Calidad de Aguas, Distrito de Riego Arenal Tempisque, SENARA, Guanacaste. [npineda@senara.go.cr](mailto:npineda@senara.go.cr)

### RESUMEN

El Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), ubicado en el Pacífico Norte de Costa Rica, constituye el mayor proyecto de riego que posee el país. Este sistema, que actualmente cubre cerca de más de 30.000 has, fue desarrollado a partir de una costosa infraestructura de canales abiertos que sirven por medio de gravedad, el agua que se utiliza previamente en la generación hidroeléctrica.

La relación de la agricultura con el agua está enmarcada por la competencia establecida entre los diferentes usuarios del recurso. Además de grandes beneficios, como el incremento de la producción agrícola y el mejoramiento económico y social de la población rural, el desarrollo de la agricultura intensiva de riego ha acarreado impactos negativos, sobre todo en el medio ambiente.

La gestión de los recursos hídricos demanda tener un conocimiento pleno de la cantidad, calidad, distribución y acceso al uso del agua, en particular el agua de uso agrícola, la cual cubre alrededor de un 90% de la demanda en la provincia. Es por ello que la Universidad Técnica Nacional en conjunto con el SENARA busca realizar una caracterización de las aguas en los sistemas de aprovechamiento del DRAT como base para el manejo de la información de la cuenca Arenal Tempisque.

Este proyecto se enmarca dentro de una filosofía cooperativa y colaborativa, interinstitucional e interdisciplinaria para generar geodatabases para facilitar la caracterización, difusión y uso compartido de la información.

Palabras claves: Calidad de Aguas, Agricultura, Riego, GIRH

El estudio de la calidad del agua es un aspecto esencial en la gestión de los recursos hídricos; es por ello que necesita un análisis complejo que no sólo corresponde al estudio de los parámetros físico-químicos del agua, sino que también debe enfocarse desde un punto de vista más general, teniendo en cuenta el origen, características y posibles usos del agua. De aquí que la tendencia actual se dirija a diferenciar distintas calidades del agua atendiendo a sus posibles usos. (Gurría *et al*, 2005)

El agua es un factor de producción clave para la agricultura. La producción de biomasa está íntimamente ligada a la necesidad de agua dulce. Las plantas captan agua en su biomasa y la devuelven a la atmósfera a través de la transpiración, un proceso que influencia positivamente las condiciones micro climáticas. Las plantas tienen la capacidad de convertir el agua «azul»

en agua «verde», capturada en la biomasa. Los suelos recubiertos de vegetación presentan una mayor infiltración y mayores niveles de humedad en el suelo, reduciendo así la escorrentía. Los suelos abandonados particularmente aquellos afectados por la desertificación, cuentan con una capacidad mucho menor para retener el agua. Dicha capacidad se pierde por completo una vez que el suelo queda sellado. (Copa-Cogeca, 2009)

La agricultura depende del clima y de las condiciones naturales. Las condiciones climáticas cambiantes producen desequilibrios entre las precipitaciones y las necesidades de los cultivos durante la vegetación, lo cual entraña graves consecuencias para los rendimientos y para la calidad de los productos agrícolas. El aumento de la frecuencia y de la gravedad de las condiciones climáticas extremas aumentará la vulnerabilidad del sector agrícola. (Copa-Cogeca, 2009)

Andreoli (1993) en su análisis de los efectos de la agricultura en la calidad del agua sintetizó una serie de enseñanzas institucionales en que la expansión agrícola ha tenido importantes repercusiones:

- Los efectos ambientales en los recursos hídricos [en general] causados por las actividades agrícolas no pueden disociarse de los efectos agrícolas en el lugar de producción. Deben ser objeto de supervisión, y las medidas preventivas deberán integrarse siempre sistemáticamente.
- Es preciso elaborar y poner en práctica sistemas de seguimiento de los recursos con una definición previa de indicadores, parámetros, límites de tolerancia, frecuencia y puntos de muestreo, combinando esta información con datos cuantitativos.
- Los datos y la información generados deberán recibir el tratamiento debido, en el sentido de que deberán difundirse lo más posible para sensibilizar y movilizar al sector público y la sociedad en lo relativo a los efectos de la agricultura en el medio ambiente.
- Deberá hacerse lo posible por intercambiar información y conseguir una cooperación horizontal entre los países, con el fin de promover el intercambio de información y experiencias.
- Además de los problemas relacionados con la calidad del agua, hay otros generados por los conflictos en su utilización, en particular la necesidad de integrar el control de la calidad con el volumen de agua dentro de un sistema de gestión integrado, descentralizado y participativo, que compagine el desarrollo regional con la protección del medio ambiente.

Es fundamental determinar los efectos de la agricultura en la calidad del agua. Ello requiere que los datos obtenidos se integren en un único sistema de información que permita analizar, en cuencas y subcuencas, las tendencias de la calidad del agua en relación con las fuentes localizadas y no localizadas y los indicadores brutos de aprovechamiento de la tierra,

topografía, suelos y clima. Esto es algo que no se hace en la mayor parte de los países, como demuestran los problemas institucionales e interinstitucionales y la falta de programas informáticos adecuados. (FAO, 1997)

Para las actividades de interpretación, es preciso establecer sistemas de medición de la fiabilidad de los datos y los niveles de confianza. El análisis de los datos disponibles permite señalar rápidamente las deficiencias de cobertura y determinar cuáles son los parámetros poco fiables y los que no tienen ninguna función útil y se pueden eliminar de los programas de supervisión. (FAO, 1997)

### **Índices de calidad del agua para su aplicación a esta problemática en el sector de la agricultura**

Los índices de calidad del agua son dos o más parámetros que indican la "sanidad" del agua. En algunos casos, los índices reflejan el comportamiento del ecosistema; en otros, revelan la situación del entorno acuático. Los índices permiten una comprensión mejor de las fuentes de contaminación y de las medidas de ordenación más eficaces. Suelen utilizarse para fines descriptivos, más que para orientar las intervenciones directas sobre el terreno. Se necesitan índices que permitan realizar una evaluación rápida del impacto de la escorrentía agrícola y que se puedan utilizar para determinar los niveles de los impactos en el espacio y el tiempo, como base para las decisiones de ordenación referentes a la necesidad de controles. Existe también la posibilidad de elaborar índices que permitan vincular los efectos en la calidad del agua con factores económicos relacionando aguas arriba así como con las consecuencias aguas abajo, y de esa manera evaluar las repercusiones económicas de la escorrentía agrícola. (FAO, 1997)

### **Análisis económico del costo de la contaminación del agua atribuida a la agricultura**

Como la contaminación del agua no tienen una procedencia bien localizada, la cuantificación de los contaminantes y sus efectos es más difícil que cuando se trata de fuentes localizadas. No obstante, la demanda mundial - cada vez mayor - de suministros de agua dulce de buena calidad - cada vez menores - exige que los países adopten un enfoque global de la ordenación de los recursos hídricos. La lucha contra la contaminación es tan costosa que las decisiones sobre las prioridades en la ordenación de los recursos deben basarse en el conocimiento del costo de la contaminación del agua para los distintos sectores económicos.

## **Tecnología de la información y toma de decisiones**

Uno de los beneficios de la tecnología de la información es la capacidad de acceder de forma electrónica a datos, textos, gráficos. Sin embargo existe la ausencia de control de calidad y otros metadatos (información sobre datos) que se necesitan para describir las características de los datos/información, además del inmenso problema de qué se debe hacer con tal cúmulo de información cuando se recibe y cómo utilizarla para la toma de decisiones. En la actualidad, el desafío no está ya en tener acceso a la información sino en integrar ésta en forma sistemática a fin de poder tomar decisiones sobre los proyectos y problemas concretos de la agricultura, en general, y para el control de la calidad del agua, en particular.

El uso de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) ha sido ampliamente difundido para la gestión del agua urbana. Un paso de desarrollo en este campo ha sido utilizar información SIG no solo para mapear y realizar consultas, sino para analizar tendencias y tomar decisiones mediante las aplicaciones que brindan los análisis espaciales. El Análisis Espacial en los SIG comprende un conjunto de procedimientos utilizados para abordar el estudio de la estructura y de las relaciones territoriales a partir del conocimiento de la posición y de las características de las entidades geográficas de las variables involucradas. (Sánchez y Núñez, 2012)

## **Materiales y Métodos**

Área de estudio. El Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT), ubicado en el Pacífico Norte de Costa Rica, constituye el mayor proyecto de riego que posee el país. Este sistema, actualmente cubre cerca de más de 30.000 has, fue desarrollado a partir de una infraestructura de canales abiertos que sirven por medio de gravedad, las aguas del río Arenal se embalsan y luego, a través de la conducción por el complejo hidroeléctrico ArCoSa, pasan de la vertiente Atlántica a la del Pacífico, generando electricidad y abasteciendo las áreas de riego del DRAT, en el Pacífico Norte. La presa derivadora Miguel Pablo Dengo toma las aguas turbinadas del complejo ArCoSa, junto con las del río Magdalena y las distribuye en los canales del Sur y del Oeste, dejando pasar los excedentes en las épocas de máxima generación hidroeléctrica, dado que no tiene capacidad de almacenamiento.

Para efectos de administración, mantenimiento y operación, el DRAT se dividió en subdistritos, a saber, Abangares, Lajas, Cañas, Piedras, Cabuyo y Tempisque; mientras que el Distrito Zapandí se dividió en los subdistritos Zapandí Norte y Zapandí Sur, tal como se muestra en la figura 1.

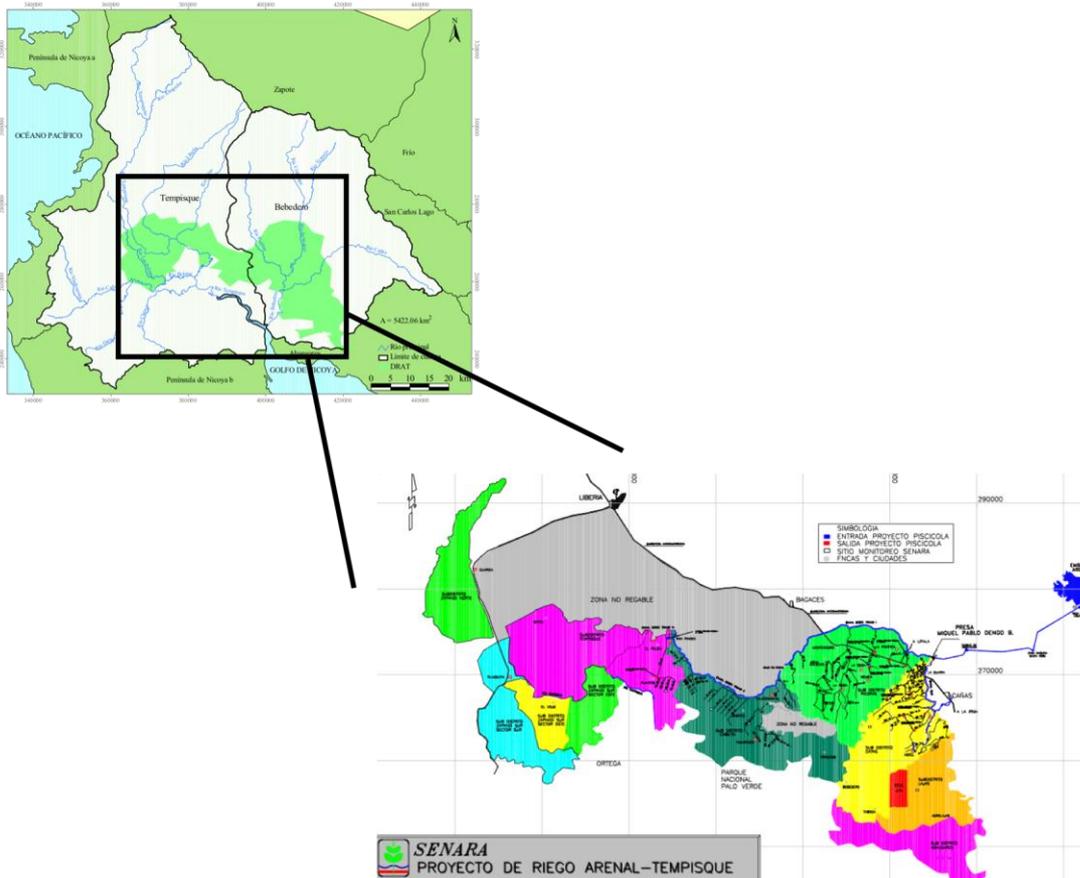


Figura 1. Distrito de Riego Arenal Tempisque

El DRAT involucra la actividad agrícola y la piscícola. Los meses de mayor demanda son febrero con 49,64 m<sup>3</sup>/s, marzo con 55,47 m<sup>3</sup>/s y abril con 47.96 m<sup>3</sup>/s. Las demandas piscícolas son de 19,00 m<sup>3</sup>/s durante todo el año, en parte son cubiertas por las demandas agrícolas aguas abajo de los proyectos. Por el canal del Oeste la mayor demanda se presenta en marzo con 38,47 m<sup>3</sup>/s y por el canal del Sur es de 17,00 m<sup>3</sup>/s, durante todo el año. (SENARA, 2012)

Reconocimiento del área del estudio. Se realizaron giras de campo para la identificación de los puntos de muestreo que realiza el DRAT como control de la Calidad de las Aguas.

Cuadro 1. Puntos de muestreo en el DRAT

Estación	Identificación	Coordenadas
1	Laguna Arenal	431819, 277794
2	Represa Miguel Pablo Dengo	414988, 271831
3	La Guaria	384226, 267899
4	Lajas	413266, 270105
5	Paso Hondo	407665, 263960
6	La Soga	404774, 266228

7	Falconiana	398254, 266632
8	Tamariando (La Mula)	393678, 264364
9	Bagatzi	389595, 265967
10	Reajuste	413161, 256565
11	Playitas	431819, 277794
12	La Bocana	414988, 271831

Recopilación de la información. Se realizaron entrevistas para obtener información detallada de los datos que poseía la institución y el uso que se le daba.

Digitalización de la información. Los datos se encontraban de manera física por lo que se digitalizaron utilizando una computadora y el programa de Microsoft Excel, con la cual se elaboró una base de datos.

Evaluación de la información. Una vez obtenida la base de datos se procedió a realizar una evaluación general de la tendencia de los parámetros (frecuencia, magnitud).

#### Discusión y Resultados

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, pero está socialmente definido y depende del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000), por lo que cada uso requiere un determinado estándar de calidad.

Chapman, (1996) menciona que la evaluación de la calidad del agua es un proceso de valoración de la naturaleza física, química y biológica en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y al uso del recurso. Esta valoración incluye un monitoreo que tiene por objetivo la recolección de muestras para la determinación de la condición actual del agua, provee las bases para detectar tendencias y suministra información para establecer relaciones de causa-efecto.

SENARA cuenta con datos correspondientes a los reportes de análisis de aguas del CICA según los puntos establecidos. Cada año estos datos han sido únicamente comparados con los límites máximos establecido en las tablas 4 y 8 del Reglamento de Vertidos y Reuso de Aguas Residuales, Decreto N° 33601-MINAE-S. Sin embargo se debe tener que SENARA realiza análisis extra al reglamento para controlar la calidad del agua que entrega a los agricultores y las características con que estos la entregan estos a los cuerpos de aguas.

Los puntos de muestreo (cuadro 1) están destinados a favorecer el control de la calidad del recurso y detectar su vulnerabilidad. Estos puntos se localizán en canales proveedores y receptores de las aguas provenientes de zonas donde puede que existe contaminación. El carácter de variables que se les atribuye a este tipo de puntos de muestreo se debe a la

necesidad de flexibilizar el monitoreo y detectar fuentes de contaminación que pueden variar en localización y tipo en tiempos muy cortos.

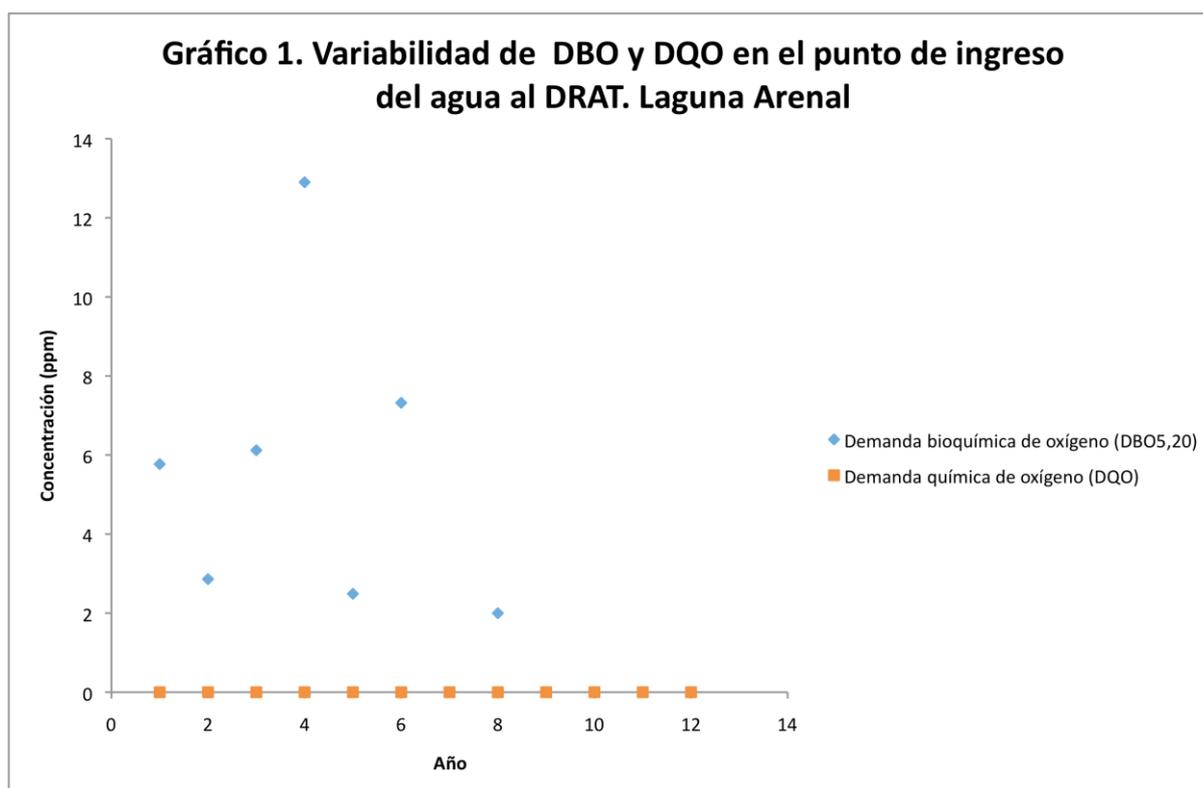
En el cuadro 2 se muestra un ejemplo de la base de datos recopilada. Cada año se realizan dos muestreos, uno en época seca y el otro en época lluviosa. El punto: Laguna Arenal, es el punto de ingreso de las aguas al DRAT

Cuadro 2. Datos fisicoquímicos del punto de muestreo: Laguna Arenal recopilado por año.

Parámetro	Año 2008		Año 2009		Año 2010		Año 2011		Año 2012		Año 2013	
	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)
Temperatura	25.5	22.5	24.0	26	26.0	29.0	25.2	26.3	25.3	25.0	26.9	30.0
Potencial de hidrógeno	7.46	7.53	7.64	7.93	7.83	7.75	8.06	8.00	7.88	7.91	8.11	7.95
Conductividad	96.0	85.5	81.85	83.9	100.50	89.2	86.4	92.8	95.1	93.2	98.6	100.0
Oxígeno disuelto	7.10	7.1							8.05		7.8	7.2
Saturación de oxígeno									95.4		95	92
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5,20)	5.77	2.86	6.12	12.90	2.49	7.32	< 2,0	2.0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Demanda química de oxígeno (DQO)	< 30	< 30	< 30	< 30	<30	<30	< 30	<30	< 30	< 30	< 30	< 30
Grasas y aceites	< 8,0	< 8,0	< 8,0	43.0	12.9	<8,0	<8,0	<8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0
Sustancias activas al azul de metilo (SAAM)	< 0,35	< 0,22	< 0,21	< 0,493	<0,35	<0,40	<0,50	<0,19	0,15	0,239	0,36	0,15
Dureza total	35.17	32.14	35.36	34.14	32.77	33.33	38.83	36.38	37.48	34.74	21.72	20.19
Potasio	1.75	1.35	2.22	1.34	1.15	<1,9	1.52	1.28	1.50	1.49	1.37	1.38
Magnesio	3.90	2.60	2.453	2.303	3.18	2.86	<1,7	2.86	3.95	3.05	3.36	3.79
Calcio	7.65	8.58	10.11	9.87	7.87	8.64	14	9.84	8.49	8.89	35.54	8.09
Sodio	5.20	3.36	4.48	4.32	5.52	4.51	4.52	4.36	4.93	4.65	4.617	4.37
RAS												
Sulfatos	2.21	2.51	2.23	2.39	2.35	2.37	2.60	2.11	1.70	2.37	2.46	2.59
Sólidos disueltos totales	68	70.0	87.0	41.0	69.2	75.10	74.40	82.00	66	74.8	73.3	75.6
Sólidos suspendidos totales	< 8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0	<8,0	24.00	<8,0	<8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0	< 8,0
Sólidos sedimentables	< 0,1	< 0,10	0,10	< 0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,10	0,10	< 0,10	< 0,1	< 0,1
Sólidos totales	260	84.0	62.0	68.0	80.4	70.90	80.30	85.60	69	76	90.0	97.3
Amonio	< 0,057	< 0,036	0.145	< 0,10	<0,15	<0,060	<0,060	<0,060	0,60	<0,060	0,060	0,060

Cada uno de los puntos de muestreo descritos en el cuadro 2 posee datos por año e incertidumbres. Los cuales seguirán siendo evaluados en la II etapa del proyecto.

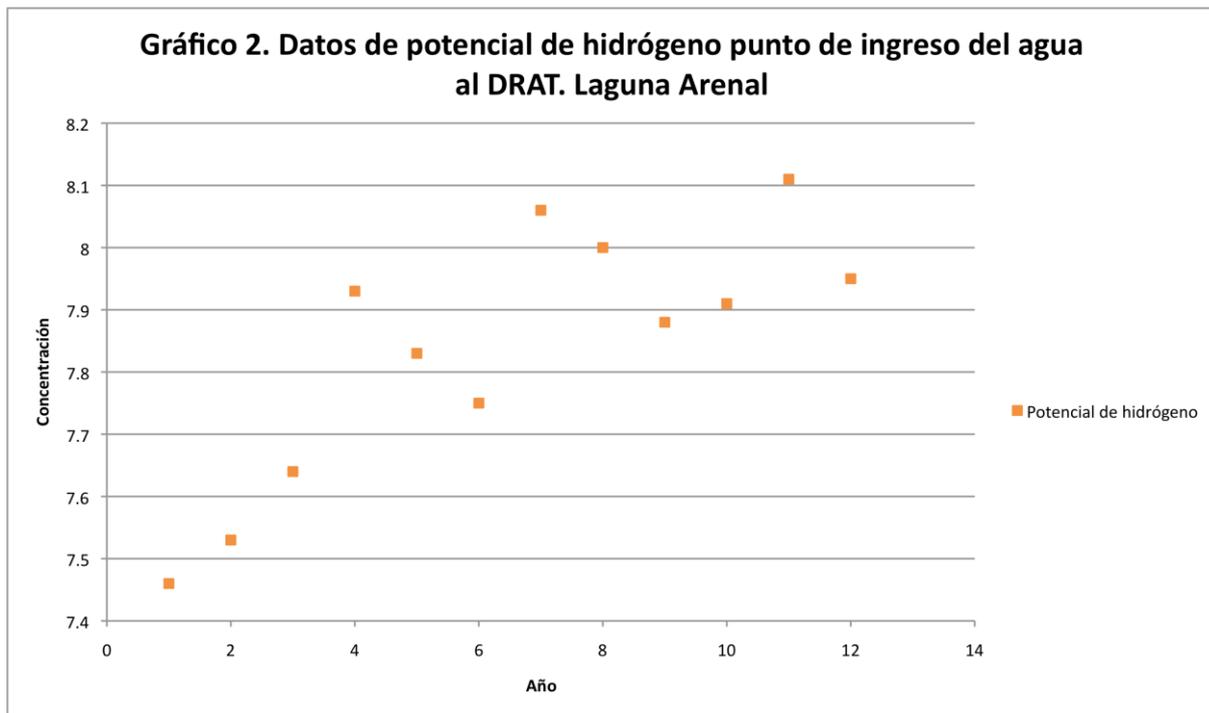
La variabilidad de cada parámetro está sujeta a temporalidad y espacio. En el gráfico 1 se observa la alta variabilidad en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y baja variabilidad en DQO, esta comparación no cumple con la relación que debe haber entre ambos parámetros, ya que por la naturaleza de la DQO debería tener valores de mayor proporción que la DBO, esto se da debido a que el análisis de cuantificación del método de la DQO es muy alta (< 30). Por ello no puede realizarse una comparación entre ambos y deberán analizarse por separado.



La DBO expresa la cantidad de oxígeno que se consume por procesos bioquímicos durante la degradación de ingredientes orgánicos. Mediante el análisis de DBO se determinan los compuestos orgánicos degradables. Esto diferencia el DBO de la demanda química de oxígeno (DQO) que determina adicionalmente sustancias orgánicas no degradables. La determinación DBO constituye un importante instrumento en la determinación de la influencia de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales sobre cauces de evacuación.

El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales (equilibrio carbonatado, procesos redox, etc.). Es fácilmente alterable

por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de muestra, su variabilidad depende de la temperatura por eso su variabilidad (gráfico 2).



El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

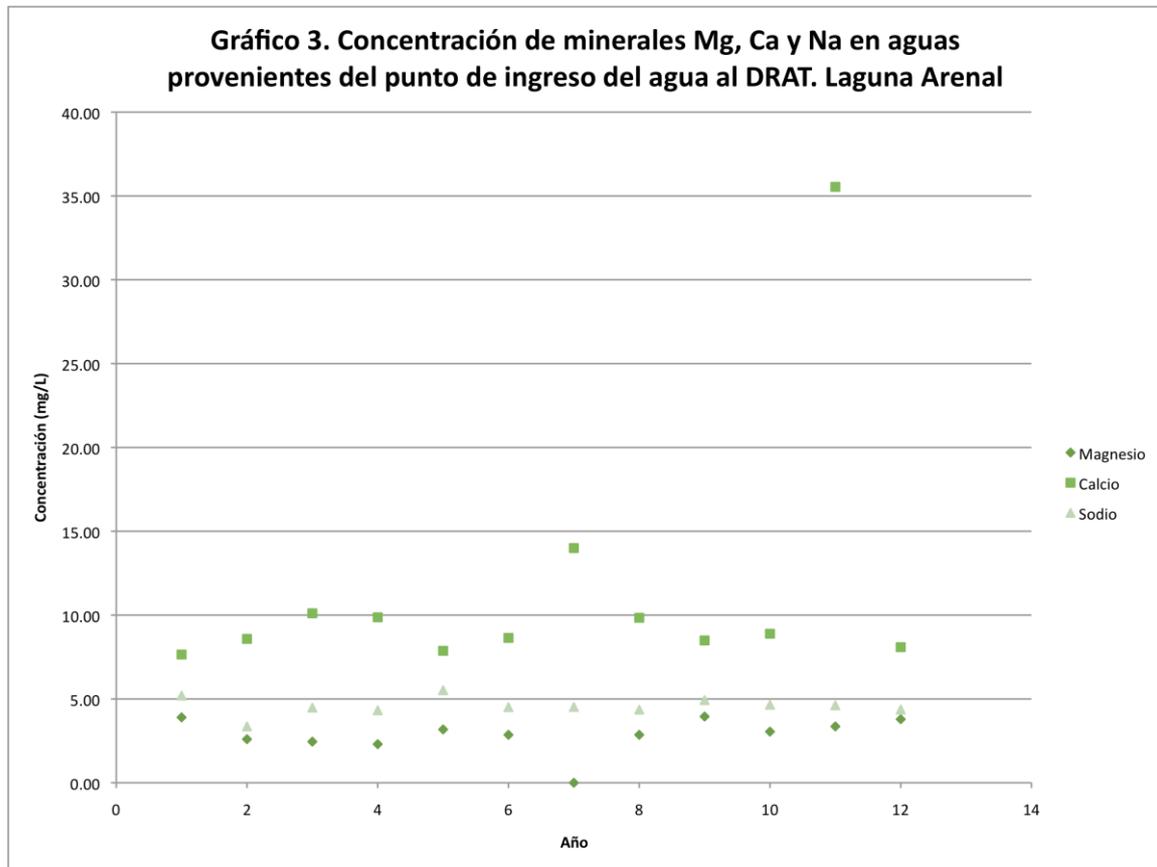
El magnesio, menos abundante que el  $\text{Ca}^{2+}$  en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos.

Una fuente importante de  $\text{Na}^+$  la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras, tanto por fenómenos de intrusión en acuíferos costeros como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar.

Las sales de  $\text{Na}^+$  son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, el  $\text{Na}^+$  puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado por  $\text{Ca}^{2+}$  provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural).

La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas de drenaje deficiente: la presencia de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  atenúa este efecto.

En el gráfico 3 se observa la tendencia de cada elemento ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ), los cuales se encuentran dentro de los límites permitidos.



Para esta primera etapa se logra obtener una base de datos actualizada y digitalizada de los parámetros físicos, químicos, biológicos y de plaguicidas en el Distrito de Riego arenal Tempisque. Evaluando generalmente la base se puede inducer que SENARA cuenta con datos relevantes para el manejo de gestión de recursos hídricos (GIRH) en cuencas.

Esta base de datos es insumo para la II etapa del proyecto.

#### Literatura consultada

Andreoli, C.V. 1993. The influence of agriculture on water quality. En: Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities. Actas de la Consulta de Experto de la FAO, Santiago, Chile, 20-23 de octubre de 1992. Water Report 1. FAO, Roma. págs. 53-65.

Copa-Cogeca. 2009. El agua y la agricultura en el contexto de un clima cambiante. EN (09)5660. Obtenido online:

[http://www.copa-cogeca.eu/img/user/file/FT\\_EN/DOC/5660ES.pdf](http://www.copa-cogeca.eu/img/user/file/FT_EN/DOC/5660ES.pdf)

FAO. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. ISBN 92-5-303875-6. Obtenido en: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>

Gurría, J. L., Hernández, A. M, y Nieto, A. 2005. De lo local a lo global: nuevas tecnologías de la información geográfica para el desarrollo. IX Conferencia Iberoamericana SIG. Universidad de Extremadura. ISBN: 84-7723-661-5

Mateo-Vega, J. 2001. Características generales de la cuenca del río Tempisque. La cuenca del río Tempisque: Perspectiva para un manejo integrado. Eds. Jorge A. Jiménez y Eugenio Gonzáles. San José, CR. 150 p. p 32-72.

Sánchez C.Y., Núñez A. M. 2012. Gestión del agua urbana mediante Análisis Espacial en los SIG. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, VOL. XXXIII, No. 3. Cuba. Pp58-71

SENARA. 2012. Demandas de agua en el Distrito de Riego Arenal Tempisque.

Chapman, D. 1996. Water Quality Assessment. A guide to use of biota, sediments and wáter in environmental monitoring. 2 ed. London, UNESCO/WHO/UNEO. p 626

WRI. Pilot analysis of global ecosystem (PAGE): freshwater systems. WRI, Washington, D.C. 2000.

ANEXO: Evidencia fotográfica



Figura 2. Represa Miguel Pablo Dengo



Figura 3. Canal de drenaje La Soga



Figura 4. Canal de drenaje Playitas



Figura 5. Reuniones de coordinación técnica