

# hidrogénesis



REVISTA DEL INSTITUTO COSTARRICENSE  
DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS



Hidrogénesis Vol.11. No1. 2015  
ISSN 1659-1968



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
Centro de Documentación e Información  
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,  
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN  
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

**Yo, Annette Henchoz Castro**

---

**N° Cédula: 1-0725-0409**

---

**Dependencia: Gerencia General**

---

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

**E-mail:** [centrodoc@aya.go.cr](mailto:centrodoc@aya.go.cr) **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette  
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por  
Annette Henchoz Castro  
Fecha: 2019.11.25 16:07:20  
-06'00'

**Firma:** \_\_\_\_\_

Esta publicación puede ser reproducida parcial o totalmente para uso en actividades de capacitación u otros fines no lucrativos, previa autorización del autor y del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

El contenido de los artículos es responsabilidad del autor (es).

333.91 Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.  
R Revista Hidrogénesis / Instituto Costarricense de  
Acueductos y Alcantarillados. – Vol. 1 No. 1 (jul.-dic. 2003).  
San José, Costa Rica: AyA, 2015

Semestral  
Resúmenes en inglés y español  
ISSN. 1659-1968  
Título Original: Revista Evolución  
Disponible en [www.aya.go.cr](http://www.aya.go.cr)

1. Planta de tratamiento - Aguas Residuales 2. Tecnología  
IFAS 3. ASADAS 4. Sistema APC 5. Sistema de  
Información Geográfica 6. Ahorro del Agua 7. Estación  
Hidrometeorológica 8. Humedales 9. Publicaciones  
Periódicas

### Consejo Editorial

Aprobado mediante acuerdo Junta  
Directiva N° 2008-150  
[consejo.editorial@aya.go.cr](mailto:consejo.editorial@aya.go.cr)

Licda. Sonia Guevara Rodríguez. M.Sc, **Directora**  
Ing. Héctor Feoli Borachi. **Subdirector**  
Edgar Brenes Valenciano  
Ing. Rodolfo Araya Alvarez  
Ing. Alvaro Araya García  
Ingra. Laura Torres Corral  
Licda. Sonia Murillo Hurtado  
Licda. Elvira Guevara Rodríguez

ISSN 1659-1968

### Filóloga

Bach. Lidia Zamora Jiménez

### Traducción de resúmenes

Jenny Gómez

### Diseño, Diagramación e impresión



### Fotografía de portada

Dirección de Comunicación Institucional

### Fotografía de Secciones y Contraportada

Héctor Feoli y Álvaro Araya

### Correspondencia, canje o solicitud

Instituto Costarricense de Acueductos y  
Alcantarillados, Consejo Editorial, correo  
electrónico: [editorial@aya.go.cr](mailto:editorial@aya.go.cr), Apartado postal  
N. 1097-1200 San José, C.R.

## INDICE

<b>Presentación</b> .....	<b>7</b>
<b>Gestión Administrativa</b> .....	<b>9</b>
Incentivos fiscales para ASADAS. AyA - Ministerio de Hacienda: Recomendación técnica para el otorgamiento y control del gasto tributario .....	11
<i>M.Sc. Sonia Guevara R., Lic. Juan Carlos Brenes B.</i>	
<b>Sección Agua Potable</b> .....	<b>19</b>
Ahorro de agua potable en los edificios de la Sede Central de Pavas.....	21
<i>Ing. Rolando Araya V., Licda. Alicia Canales A.</i>	
Calidad biológica del agua superficial del Humedal Ramsar Caño Negro, Los Chiles, Alajuela. ....	31
<i>Lic. José Manuel Quirós S.</i>	
Mejora en la calidad de la información hidrometeorológica del AyA.....	43
<i>Ing. Jorge Hidalgo M., Ing. Hernán Villalobos S.</i>	
Construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de sistemas de agua potable y saneamiento de AyA en Costa Rica .....	59
<i>Lic. Esteban González R.</i>	
<b>Sección Saneamiento</b> .....	<b>81</b>
Aplicación de la tecnología “lodo activado integrado con biopelícula fija” en plantas de tratamiento de aguas residuales tipo lodos activados .....	83
<i>Ing. Andrés Lazo P., Ing. Álvaro Araya G.</i>	
Experiencias institucionales en el uso del Sistema APC para la aprobación de plantas de tratamiento de aguas residuales .....	97
<i>Ing. Alejandro Campos C.</i>	

## PRESENTACIÓN

La Revista Hidrogénesis en esta edición presenta a los lectores una serie de artículos en diferentes temas propios de agua potable, aguas residuales y gestión en los sistemas de agua potable y saneamiento.

Los licenciados **Sonia Guevara y Juan Carlos Brenes** participan con el artículo sobre **“Incentivos Fiscales para ASADAS. AyA-Ministerio de Hacienda. Recomendación Técnica para el Otorgamiento y Control del Gasto Tributario”**, desarrollando el ámbito de aplicación de la Ley 8776 y su reglamento y detallando el procedimiento para el otorgamiento de la recomendación por parte del AyA y la aprobación del Ministerio de Hacienda.

El Ing. **Rolando Araya** y la Licda. **Alicia Canales** colaboran con el documento **“Ahorro del Agua Potable en los edificios de la Sede Central de Pavas”**, abordando una serie de actividades y logros alcanzados en el mes de agosto del 2011. Se persiguen con su trabajo reducir el consumo de agua potable en los edificios de la Sede Central de Pavas.

El Lic. **José Manuel Quirós** expone su trabajo sobre la **“Calidad biológica del agua superficial del Humedal Ramsar Caño Negro, Los Chiles, Alajuela”**, donde detalla los objetivos, materiales, método, resultados, discusión y conclusiones de su investigación.

Los ingenieros **Jorge Hidalgo y Hernán Villalobos** publican el artículo titulado **“Mejora en la Calidad de la Información Hidrometeorológica**

**del AyA”** exponiendo a través de su investigación el Proyecto de Modernización del Programa Nacional de Monitoreo de Información Hidrológica del AyA.

El Lic. **Estaban González** muestra el proceso y los resultados del proyecto **“Construcción y Ajuste Geográfico de Datos Espaciales de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento de AyA en Costa Rica”**. Esto fue realizado mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los ingenieros **Andrés Lazo y Alvaro Araya** con su artículo **“Aplicación de la tecnología “Lodo activado integrado con biopelícula fija”** en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales tipo Lodos Activados” presentan la aplicación de los conceptos IFAS al caso específico de la PTAR El Roble, en Puntarenas (Costa Rica).

Asimismo el Ing. **Alejandro Campos** expone las **“Experiencias Institucionales en el Uso del sistema APC para la aprobación de plantas de tratamiento de aguas residuales”**. Recomendando en su trabajo a todos los profesionales responsables de los proyectos de construcción la capacitación en el uso de este sistema, el acatamiento a las observaciones institucionales y atender de manera oportuna las denuncias interpuestas. Lo anterior para garantizar la eficiencia en el proceso de aprobación de planos.

Instamos a nuestros lectores a remitir sus investigaciones, ensayos y artículos técnicos a este Consejo Editorial así como sus comentarios sobre la revista a nuestra dirección de correo: consejo.editorial@aya.go.cr

**Consejo Editorial**



# GESTIÓN ADMINISTRATIVA



**Sonia  
Guevara Rodríguez** <sup>1</sup>



**Juan Carlos  
Brenes Brenes** <sup>2</sup>

## **Incentivos fiscales para ASADAS AyA - Ministerio de Hacienda: Recomendación técnica para el otorgamiento y control del gasto tributario**

### **Resumen**

Bajo la figura de la delegación por el AyA existen en Costa Rica cerca de 1500 entes operadores de acueductos comunales (ASADAS) que en total abastecen aproximadamente el treinta por ciento (30%) de la población nacional, es en virtud de ello, que bajo el expediente N.º 17.375, se aprueba el 8 de setiembre de 2009 la Ley de Exoneración a las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados, Ley N. 8776.

Esta Ley tiene como objetivo fortalecer el financiamiento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales (ASADAS), y crear las condiciones que faciliten la adquisición de bienes y servicios que viabilicen la efectiva gestión operacional de los sistemas de acueductos y alcantarillados comunales. Para tener acceso al beneficio fiscal es necesario contar con una recomendación del AyA

y con la aprobación del Ministerio de Hacienda, procedimientos que se explicarán en el presente artículo.

**Palabras claves:** ASADAS, exoneración de impuestos, incentivos fiscales, gasto tributario, verificación de uso y destino, Ley 8776.

### **Abstract**

Under the figure of the delegation by the AyA there are about 1500 communal systems operating entities in Costa Rica (ASADAS) which in total they supply potable water and sanitation to approximately thirty percent (30 %) of the national population. For this reason, under file No. 17.375, it was approved on September 8th, 2009 the law for Tax Exemption for this Communal Associations, Law No. 8776.

This Law aims to strengthen the finances of this communal associations (ASADAS), and create the conditions to promote the acquisition of properties and services that enable the effective water and communal sewage systems management. To gain access to this tax exemption benefit, it is necessary

<sup>1</sup> Abogada de la Dirección Jurídica del AyA. Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo. [sguevara@aya.go.cr](mailto:sguevara@aya.go.cr)

<sup>2</sup> Director de Incentivos Fiscales. Dirección General de Hacienda. [brenesbj@hacienda.go.cr](mailto:brenesbj@hacienda.go.cr)

to have AyA's and the Ministry of Finance approval, procedures explained in this article.

**Key words:** ASADAS, tax exemption, tax incentives, tax expenditure, verification of use and destination, Law 8776.

## Régimen Jurídico Costarricense sobre la prestación de los servicios públicos de agua potable y Alcantarillado

El servicio público presupone una actividad de interés general, que es retenido por el legislador a efecto de someterlo a un régimen particular. El interés general presente en una actividad determinada que es esencial para el desenvolvimiento del Estado o de la sociedad y ello en el tanto que satisface una necesidad que se presenta como colectiva.

La satisfacción del interés determina la declaratoria de la actividad como servicio público. La relación que ese interés tiene con el servicio público reafirma que el servicio público no funciona en interés de la Administración titular así como tampoco respecto del interés particular de los usuarios, sino que debe tender a la satisfacción del interés general que justifica la publicatio, pues su ausencia permitiría cuestionar la declaratoria de una actividad como servicio público.

La doctrina entiende por "publicatio": "Una actividad que se declara servicio público (en España por ejemplo el suministro de agua, gas o electricidad o el transporte de personas y mercancías por carretera o ferrocarril). Es lo que

se llama publicatio o reserva al sector público, con monopolio o sin éste. Pues bien, el servicio puede ser prestado por la administración –es la llamada gestión directa o encomendado, mediante contrato, con un particular" Jiménez Blanco, Antonio. Manual de Derecho Administrativo. 1998, p. 796.

Por tanto, corresponde al legislador señalar cuáles son las actividades que, en razón del interés general que encierran, son consideradas como servicio público, de lo anterior se desprende que la "publicatio", en materia de prestación del servicio de agua, se da de conformidad con el artículo 2 inciso a) de la Ley Constitutiva del AyA del año 1961 que señala:

"Corresponde al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados a) Dirigir y vigilar todo lo concerniente para proveer a los habitantes de la República de un servicio de agua potable, recolección y evacuación de aguas negras y residuos líquidos y de aguas pluviales en las áreas urbanas"

La administración, operación, mantenimiento y desarrollo del servicio público lo puede realizar el AyA directamente o por medio de terceros. Un ejemplo de la prestación directa lo constituye la prestación del servicio en el área metropolitana, mientras que la gestión de los acueductos comunales es una clara administración por medio de terceros, tal como lo regula el reglamento de las Asociaciones Administradores de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (Reglamento 32529-S-MINAE de 5 de agosto del 2005).

El artículo 2 inciso g) de la Ley Constitutiva del AyA faculta al AyA a convenir con organismos locales, la administración de tales servicios o

administrarlos a través de juntas administradoras de integración mixta.

En virtud de ello, la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas comunales se delega en Asociaciones Administradoras (regidas por la ley 218 y su reglamento) constituidas sin fines de lucro y con personería jurídica propia para que gestionen el servicio público de agua potable y alcantarillado sanitario, lo que significa que la titularidad del servicio la conserva el Instituto y la gestión la realiza dicho tercero, figura que ha sido avalada por la Sala Constitucional, la Procuraduría General de la República y la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

Reiteramos, el AyA mantiene la titularidad de la prestación del servicio de los Acueductos y Alcantarillados dados en delegación a las Asociaciones Administradoras, esta última lo que realizan es la gestión del servicio bajo la dirección, control, fiscalización, evaluación y planeación del Instituto.

Cabe aclarar, que de conformidad con lo señalado antes no estamos frente a una figura de concesión del servicio ni frente a ninguna otra manifestación de esta figura como lo son la gestión interesada, concierto y sociedad de economía mixta, puesto que el ente privado no explota, lucra ni paga al AyA ningún canon por la gestión de dicho servicio.

La que priva es la figura de la delegación como una manifestación del principio de colaboración entre las administraciones públicas y las particulares en la prestación del servicio público, permitiendo esta figura el desdoblamiento entre la titularidad de la prestación (que la mantiene la administración

pública) y la gestión del servicio (que se entrega a las organizaciones privadas con fines públicos “ASADAS”).

## **Ley de Exoneración de Impuestos para ASADAS (Ley 8776) y su Reglamento**

Bajo la figura de la delegación por el AyA existen en Costa Rica cerca de 1500 entes operadores de acueductos comunales que en total abastecen aproximadamente el treinta por ciento (30%) de la población nacional, es en virtud de ello que bajo el expediente N.º 17.375, por iniciativa de los diputados y las diputadas de varias fracciones políticas, se aprueba el 8 de setiembre de 2009 la Ley de Exoneración a las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados, Ley N. 8776 publicada en el Diario Oficial La Gaceta N 212 del 02 de noviembre de 2009.

Esta Ley tiene el objetivo de fortalecer el financiamiento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales (ASADAS), a fin de crear las condiciones que faciliten la adquisición de bienes y servicios que viabilicen la efectiva gestión operacional de los sistemas de acueductos y alcantarillados comunales. Se declara de interés público la gestión de estas asociaciones, ya que incrementan el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades.

En el artículo 3 de dicho cuerpo normativo se detalla que la exoneración para ASADAS se refiere al pago de timbres y derechos, impuesto de ventas, canon, impuesto selectivo de consumo, impuestos a la importación de vehículos, equipo y materiales de trabajo.

Asimismo mediante Decreto Ejecutivo N. 36064-H, publicado en La Gaceta N. 127 del 07 de julio del 2010 se emite por parte del Poder Ejecutivo el Reglamento de Exoneraciones a las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), detallando los trámites y requisitos para tener acceso a la exoneración.

Es importante destacar que la Procuraduría General de la República, a través del Procurador Tributario, mediante la Opinión Jurídica N. 067-J del 24 de julio del 2009 emite criterio respecto de lo que a ese momento era un proyecto de ley manifestando en lo que nos interesa:

“De conformidad con el Principio de Legalidad estipulado en los artículos 121 inciso 13) de nuestra Constitución Política y 5 del Código de Normas y Procedimientos Tributarios, la potestad de establecer tributos y exenciones es una atribución exclusiva del Estado, la cual se ejerce a través de la Asamblea Legislativa; de ahí que la Sala Constitucional reiteradamente ha dicho:

*“IV.- DE LA POTESTAD TRIBUTARIA DEL ESTADO. (...) el Estado tiene potestad soberana de exigir contribuciones a personas o bienes que se hallan en su jurisdicción, o bien, de conceder excepciones, de manera tal que bien se puede conceptualizar que esa potestad de gravar es el poder de sancionar normas jurídicas de las que se derive o pueda derivar la obligación de un tributo o de respetar un límite tributario; poder que se encuentra limitado en los principios y valores que la propia Constitución Política establece (...)” (SCV-8755-2000)*

Así las cosas, la exención que se propone mediante el proyecto de referencia, no es más que el ejercicio de la competencia tributaria por parte de un miembro de la Asamblea Legislativa. No obstante debe tenerse presente, que por cuestiones de índole financiera del Estado, la tendencia en los últimos años ha sido a la eliminación de los incentivos y beneficios fiscales – entre ellos las exenciones -, y para muestra la Ley N° 7293 de 31 de marzo de 1992, que introdujo una derogatoria genérica de todas las exenciones objetivas y subjetivas previstas en diferentes leyes, conservando como casos de excepción aquellas exenciones previstas en leyes expresamente enumeradas por el Legislador, así como las creadas también en el artículo 2 de la ley de cita; tema que es un aspecto relacionado con el ejercicio de la discrecionalidad legislativa.

En relación con a la exención contemplada en el Proyecto de Ley sometido a consideración de la Procuraduría, es menester determinar si el beneficio que se pretende otorgar resulta necesario e indispensable para el cumplimiento de los fines de las ASADAS, así como el impacto que genera en las arcas de los beneficiarios del tributo.

Por otra parte, en cuanto a la redacción del artículo 3, a juicio de esta Procuraduría, debe necesariamente limitarse el alcance de la exención en cuanto al impuesto de ventas, restringiéndolo exclusivamente a los bienes que resulten necesarios e indispensables para el cumplimiento de los fines de las ASADAS, lo mismo con respecto a los tributos que pesan sobre la importación de materiales y equipo. En cuanto a la exención de los tributos que afecten la importación de vehículos, también debe necesariamente definirse qué tipo de vehículos son

los que pueden exonerarse, teniendo en cuenta para ello, el tipo de combustible y cilindrada. Lo anterior, a fin de evitar abusos con el beneficio.

Finalmente, debe indicarse expresamente en la norma, que los beneficiarios de la exención deberán sujetarse a los procedimientos establecidos por el Departamento de Exenciones del Ministerio de Hacienda, para hacer efectiva la exención.”

## De la recomendación del AyA

El artículo 4 del Reglamento de Exoneraciones a las ASADAS dispone que previo al trámite ante el Ministerio de Hacienda se deberá contar con una recomendación emitida por parte del AyA, a través de la Subgerencia de Sistemas Delegados en coordinación con la Dirección Jurídica de AyA, para efectos prácticos, la Subgerencia ha registrado ante el Ministerio de Hacienda a todos los Jefes de las Oficinas de Atención de ASADAS para que puedan analizar y recomendar, en caso de que proceda, las solicitudes de exoneración presentadas por las ASADAS.

Para emitir la recomendación el encargado de la Oficina de Atención de ASADAS deberá constatar que existan convenios de delegación vigentes, así como verificar que los bienes próximos a adquirir o adquiridos por las ASADAS sean destinados a la gestión de operaciones de los sistemas de acueductos y alcantarillados. Lo anterior de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 5 y el 21 inciso 15 del Reglamento de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueducto y Alcantarillado Comunal (Decreto Ejecutivo 32529-S-MINAE)

## De la gestión de análisis de solicitudes de exoneración de impuestos por parte del Ministerio de Hacienda

Todos los incentivos fiscales tienen un propósito o fin que los legisladores establecen en una ley, ya que para las exoneraciones de impuestos debe prevalecer el principio de reserva de ley establecido en el Código de Normas y Procedimientos Tributarios en su artículo 5, donde indica que es materia privativa de ley el otorgar exenciones, reducciones o beneficios.

En virtud del propósito y/o fines que establece la ley para los incentivos se debe plantear los mecanismos de otorgamiento y control de las exoneraciones de impuestos. En el caso concreto de las ASADAS la Ley 8776 estableció el objetivo de fortalecer el financiamiento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales (Asadas), creando las condiciones que faciliten la adquisición de bienes y servicios para que viabilicen la efectiva gestión operacional de los sistemas de acueductos y alcantarillados comunales.

Derivado de la ley, el poder ejecutivo estableció el reglamento necesario para su implementación en el decreto N. 36064-H, en el cual mediante sección primera del capítulo II se da la competencia al Ministerio de Hacienda por medio de la Dirección General de Hacienda para otorgar las autorizaciones de exoneración de acuerdo con la legislación vigente, llevar a cabo el control de uso y destino de los bienes exonerados, autorizar la liquidación de los tributos para regularizar la situación fiscal de los bienes; girar lineamientos a las ASADAS

en materia de control de los bienes exonerados; realizar estudios para verificar que las diversas oficinas involucradas cumplan con las funciones indicadas en el presente Reglamento.

Con base en las competencias reglamentarias el departamento de Gestión de Exenciones de la División de incentivos Fiscales de la Dirección General de Hacienda lleva el proceso de gestión de análisis de solicitudes de exoneraciones, una vez que son solicitadas por el beneficiario (ASADA) y recomendada por Acueductos y Alcantarillados, quien funge como Ente recomendador, para emitir el acto firme de la autorización, llámese otorgamiento de la exención o la denegatoria de la misma, según corresponda.

Durante el análisis de cada solicitud de Gestión de Exención se debe hacer un estudio detallado con un criterio restrictivo apegado a la legalidad, para valorar la exoneración establecida en el artículo 3 de la ley 8776 “Exonérense a las Asadas del pago de timbres y derechos, impuesto de ventas, canon, impuesto selectivo de consumo e impuestos a la importación de vehículos, equipo y materiales de trabajo”. Lo anterior, revisando el cumplimiento de los requisitos técnicos y legales que están normados para los efectos, entre los que se incluyen como los principales los siguientes:

- Constitución de una ASADA
- Convenio delegación con el AyA
- Registro de firmas
- Personería Jurídica
- Estado de Obligaciones Estatales

Dentro de estos requisitos es importante resaltar que la mayoría son requisitos específicos del beneficio, en este caso ASADAS, pero no se debe

dejar de lado la obligatoriedad para que los mismos estén al día en sus obligaciones con los impuestos administrados por la Administración Tributaria, como una forma de garantizar a la ciudadanía que aquella inversión en un sector específico como en este caso los Acueductos Rurales, lo realiza el Estado a aquellas personas jurídicas, que cumplan con sus obligaciones tributarias, justificando así el gasto tributario correspondiente.

De la misma forma dentro de la revisión y análisis que realiza el Departamento de Gestión de Exenciones, se encuentran algunas formalidades que se establecen en instructivos y en la propia resolución de formularios para optar por exenciones de impuestos, que coadyuvan al control y monitoreo de los trámites y da seguridad jurídica, tanto al administrado como a la propia administración.

En el proceso de otorgamiento o denegatoria de las exoneraciones de impuestos para las ASADAS un pilar fundamental es la recomendación técnica que otorga el instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, siendo ésta el primer respaldo para que lo sujeto a exoneración, sea parte de la administración, operación, mantenimiento y desarrollo del acueducto rural que administra una determinada ASADA. No obstante lo anterior se debe dejar claro que independientemente de la recomendación técnica, la autorización de exoneración de impuestos es competencia exclusiva de la Administración Tributaria, en este caso específicamente del Departamento de Gestión de Exenciones.

Adicional al trámite para solicitar una exoneración de impuestos, también las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales (Asadas), pueden solicitar

una revalidación de una autorización, en virtud de que su fecha de aplicación expiró, y/o también solicitar la autorización para liquidar los tributos sobre el objeto exonerado en una determinada autorización ya aplicada en el régimen respectivo. En este último caso voluntariamente cualquier ASADA puede solicitar esa liquidación para pagar los impuestos que en su oportunidad le fueron suspendidos por una exención para algún propósito que la legislación aplicable a ASADAS, le permita.

Como uno de los puntos importantes a tomar en cuenta para una de las exoneraciones que la ley da derecho a las ASADAS, impuesto de ventas a nivel de compras en el mercado nacional, está el periodo de prescripción, el cual según el Código Tributario actualmente es de 4 años, por lo que las ASADAS pueden solicitar la autorización de exoneración de dicho impuesto a efectos de solicitar devolución, únicamente para facturas cuya fecha de emisión no tengan más de 4 años. Este caso es exclusivo para impuesto de ventas en mercado local, ya que para impuestos aplicables a la importación, la solicitud de exoneración se realiza previo a nacionalizar la mercancía, por lo que no se realiza pago de impuestos ni por ende se hacen trámites para devoluciones.

Los trámites indicados anteriormente si bien se realizan en forma documental, también se pueden realizar vía web con el sistema EXONET, con base en el Decreto Ejecutivo N° 31611-H publicado el 29 de enero de 2004, que autorizó la utilización del Sistema EXONET para la gestión y trámite de las solicitudes de exención de tributos, así como las demás gestiones relacionada con éstas, ante el Departamento de Gestión de Exenciones de la Dirección General de Hacienda. En la actualidad se está realizando coordinaciones entre Hacienda y AyA, para hacer llegar el uso del sistema a todas

las ASADAS, incluyendo temas de acceso, como el caso de los quioscos tributarios a nivel nacional.

La Dirección General de Hacienda de acuerdo con lo establecido por el mismo Decreto que regula la exoneración de impuestos a las ASADAS, debe llevar a cabo el control de uso y destino de los bienes exonerados, autorizar la liquidación de los tributos para regularizar la situación fiscal de los bienes; girar lineamientos a las ASADAS en materia de control de los bienes exonerados y realizar estudios para verificar que las diversas oficinas involucradas cumplan con las funciones indicadas en el presente Reglamento.

Los deberes anteriormente descritos para el Ministerio de Hacienda y la inversión en gasto tributario sirven para fortalecer el financiamiento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales (ASADAS), creando las condiciones que faciliten la adquisición de bienes y servicios para que viabilicen la efectiva gestión operacional de los sistemas de acueductos y alcantarillados comunales y conviertan este régimen de exoneraciones en uno de los posibles a fiscalizar a través de verificaciones de uso y destino de bienes exonerados y revisión de incumplimientos a dicho régimen.

Los controles sobre la aplicación de los incentivos fiscales que se les otorgan a las ASADAS, se realizan para garantizar también que dicho sacrificio fiscal, se esté realizando apegado a la legalidad y en búsqueda del objetivo que planteó la Ley 8776, justificando la inversión en dicho sector.

Las actuaciones de fiscalización determinadas en el art 38 y siguientes de la Ley 7293 se convierten en la principal herramienta con que

cuenta la administración tributaria para verificar la correcta aplicación del régimen de exoneración a las ASADAS, partiendo de la eficacia e ineficacia de una autorización de exoneración de impuestos. Esta última puede obedecer a un incorrecto uso y destino previsto, de los bienes y servicios sobre los que haya recaído la exención que disfruta determinado sujeto, en este caso las ASADAS.

Las actuaciones de fiscalización se realizan siguiendo criterios de selección que se establecen en el Plan Anual de Fiscalización que ejecuta el Departamento de Fiscalización de la División de Incentivo Fiscales. Dichas actuaciones recaen sobre aquellos beneficiarios de exoneraciones de impuestos, que cumplen con alguno de los criterios de selección, o inclusive por denuncia, por lo que las ASADAS que aplican exoneraciones de impuestos podrían estar sujetas en algún momento a un proceso de revisión de esta índole.

Los procesos de fiscalización teniendo como base o fundamento legal la Ley 7293, también cuentan con los instrumentos jurídicos que establece el Código de Normas y Procedimientos Tributarios, incluyendo su régimen sancionador y atienden al debido proceso y plazos legales, que establece la normativa vigente, incluyendo la Ley General de la Administración Pública.

Una vez realizada una fiscalización a una ASADA como beneficiario de una exoneración, se podrían concluir algunos elementos de base para declarar ineficaz una nota de autorización de exención, lo que, en caso de quedar en firme la resolución de la administración, le podría traer sanciones e intereses según los cuerpos normativos citados anteriormente y hasta redireccionarse a procesos de cobro judicial y causas penales, que se alinean

a la legítima defensa y al derecho de defensa de los administrados.

Como parte de la fiscalización a las exoneraciones de impuestos es importante señalar que la ley prevé las responsabilidades y expresamente el artículo 42 de la ley 7293 indica:

*ARTICULO 42.- Los órganos que recomienden el otorgamiento de exenciones ante la Administración Tributaria, deben ejercer funciones de control sobre el correcto uso y destino de los bienes exonerados en virtud de su recomendación, todo de conformidad con las directrices que para estos efectos emanen de la Dirección General de Hacienda. Asimismo, los funcionarios de los órganos que recomiendan tendrán responsabilidad solidaria con los funcionarios del Departamento de Exenciones de la Dirección General de Hacienda, cuando incurran en culpa o dolo en la recomendación.*

Establecidos los deberes tanto de la Administración Tributaria como del Ente que recomienda, entendiéndose como AyA, las actuaciones conjuntas e integradas, por parte de ambos, se convierte en pilar para que las exoneraciones de impuestos a las ASADAS, tanto en el otorgamiento como en el control posterior, cumplan con el objetivo que estableció la ley, controlen el correcto uso, destino y aplicación de las mismas, y regulen una clara rendición de cuentas para ese incentivo fiscal, en el cual invierte el Estado.



# AGUA POTABLE





Rolando  
Araya Víquez <sup>1</sup>



Alicia  
Canales Arias <sup>2</sup>

## Ahorro de agua potable en los edificios de la Sede Central de Pavas

### Resumen

Este artículo aborda una serie de actividades y logros alcanzados, a través de un primer estudio que se realizó en el edificio de la Sede Central de Pavas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) en el mes de agosto del 2011, con el propósito de evaluar varios aspectos de interés institucional, entre los que se citan a continuación:

La medición del agua como primer objetivo, ello implicaba la localización de la prevista dado que existía una conexión fija pero no registrada oficialmente, por lo tanto era indispensable instalarle un medidor y oficializar el servicio en el sistema Comercial Integrado (OPEN) asignándole el correspondiente Número de Identificación del Servicio el cual es NIS: 525 0013.

Una vez implementada la medición en la entrada principal, se procedió a establecer un registro y

control del agua consumida del conjunto de los tres edificios (módulos A, B y C), con ello se pudo obtener datos sobre consumos promedio diario y mensual por funcionario, para tener un parámetro comparativo de consumo antes de las mejoras y posterior a éstas; se realizó revisiones generales sobre el estado de la red de agua potable y se planificó las mejoras correspondientes.

Se fijó como meta reducir el consumo de agua potable en los edificios de la Sede Central de Pavas, para lo cual además de realizar las mejoras y reparaciones de fugas y daños, se acordó sustituir todos los servicios sanitarios de los tres módulos por los de bajo consumo para lograr de manera más eficiente el objetivo de ahorro del agua potable.

**Palabras clave:** Medición, tecnología para el ahorro del agua, eficiente uso del agua, ahorro de agua - Sede Central de Pavas.

<sup>1</sup> Ing. Mecánico. Dirección Desarrollo Tecnológico. roaraya@aya.go.cr

<sup>2</sup> Licda. Administración de Empresas, Énfasis en Gerencia. Dirección Desarrollo Tecnológico. acanales@aya.go.cr

## Abstract

This article discusses a number of activities and achievements covered through a first study that was carried out in the city of Pavas, in the Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) in the month of August 2011. This study had the aim of assessing various aspects of institutional interest, some of which are cited below:

Water measurement was the first goal, this implied the planned location since there was a fixed connection, but not officially registered; therefore, it was necessary to install a meter and formalize the service on the Integrated Commercial System (OPEN) assigning the corresponding service identification number which is NIS: 525-0013.

Once the measurement was implemented at the main entrance, a registration and control of the water consumed in the set of three buildings was established (modules A, B, and C). This could get average daily and monthly consumption data per unit, for a comparative parameter of consumption before and after general revisions and improvements. Drinking water network status was assessed, and the corresponding improvements were planned as well.

It was a set goal to reduce the water consumption of the Central Headquarters of Pavas; with this aim, in addition to the improvements and repairs of leaks and damage, it was agreed to replace all the restrooms equipment in the three modules with those of low consumption to achieve more effectively the objective of saving of drinking water.

**Key Words:** Measurement, technology for

water saving, efficient water use, water saving - Headquarters of Pavas.

## Antecedentes

Entre las funciones que le competen a la Dirección de Desarrollo Tecnológico (DDT), está la colaboración con la Comisión del Programa Bandera Azul Ecologica acciones para enfrentar el Cambio Climático en materia de la reducción del uso del agua potable, en este caso correspondió la solicitud planteada por dicha Comisión en enero del 2011, el intervenir en la Sede Central de AyA en Pavas.

El aporte brindado por la DDT consistió en aplicar procedimientos técnicos similares a los del Convenio AyA y el Ministerio de Educación Pública (AyA-MEP), vigente desde el año 2006; con el cual se han logrado grandes beneficios, como la reducción de la morosidad de un 80% a 0%, el cobro de un pendiente de ₡600 millones, con una recaudación actual del servicio brindado a 929 Centros Educativos Públicos (CEP) a nivel nacional y adscritos al Convenio, de más de ₡1.500 millones de colones anuales, un ahorro de agua superior al 40%, mejora en los hábitos de consumo de los estudiantes, personal docente y administrativo de los CEP.

## Objetivos

### Objetivo General:

1. Disminuir el consumo de agua, mediante la ejecución de mejoras, buenas prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo en la red de agua potable, así como el uso de tecnologías y dispositivos que permiten ahorrar agua.

## Objetivos específicos:

1. Localizar la prevista de agua potable de la Sede Central de AyA en Pavas, e instalarle un medidor de agua mecánico tipo velocidad chorro múltiple de 50 mm de diámetro.
2. Realizar un diagnóstico técnico para conocer detalles como: Estado de la red interna de abastecimiento (lavatorios, mingitorios, servicios sanitarios, pilas, etc.), existencia y magnitud de fugas, hábitos en el consumo del agua potable.
3. Establecer contacto con la unidad de mantenimiento de los edificios para la aplicación de las mejoras y acciones correctivas tendiente al ahorro del agua.
4. Realizar lecturas y cuantificar el consumo de agua por medio del medidor instalado, verificando los beneficios de ahorro con la aplicación de mejoras e instalación de dispositivos ahorradores de agua.
5. Realizar aforos (cuantificación de una fuga) periódicos para verificar el estado de la red de agua potable.
6. Aportar información técnica, y recomendaciones que permitan elaborar programas de mantenimiento, actividades de concientización sobre el ahorro de agua.

## Descripción del Proyecto

Este proyecto inició en el mes de agosto del 2011, realizando un estudio técnico sobre el estado de la red de agua potable de la Sede Central de AyA en Pavas, a través de las siguientes acciones:

1. Se realiza una inspección para ubicar la prevista que abastece de agua potable en los edificios de la Sede Central de Pavas, comprobándose que esta Sede estaba abastecida por medio de una paja fija no registrada en el Sistema Comercial Integrado.
2. Se coordinó con la Unidad de Mantenimiento de la Sede Central, para la instalación del medidor de agua por medio de una cuadrilla de Grandes Clientes de GAM.
3. Se descubrió la prevista de agua de 50 mm de diámetro, y se le instaló el nuevo medidor No. 8104362 con lectura 2 m<sup>3</sup> de diámetro de 50 mm. Dicho medidor registra el consumo de agua potable que conecta el tubo madre de la red de abastecimiento AyA al tanque principal de almacenamiento de agua, donde se ubica un sistema de bombeo, el cual impulsa el agua a los edificios de la Sede.
4. Se procedió a realizar lecturas periódicas para analizar y cuantificar los consumos de agua del medidor instalado en tarjetas de control para tal efecto.
5. Se realizó un diagnóstico detallado de los daños y fugas existentes, con el propósito de tomar las acciones correctivas pertinentes.

6. Se coordinó con la Unidad de Mantenimiento de Pavas a efectos de que ejecutaran las acciones correctivas (sustituyendo llaves dañadas y boyas en inodoros, reparar fugas visibles, pegar tuberías desacopladas o rotas, etc.) para eliminar toda fuga existente así como daños.
7. Se emitió recomendaciones técnicas y mejoras a realizar con el uso de tecnología automatizada, tendientes a reducir el consumo de agua potable.
8. Se sustituyó mediante la contratación de servicios por parte de la Dirección Servicios de apoyo, los 91 servicios sanitarios de los tres módulos, los antiguos con capacidad para descargar 10 litros, por sanitarios de bajo consumo con capacidad de 3 litros por descarga.
9. Posteriormente a las mejoras y la instalación de los servicios sanitarios se mantuvo el seguimiento de lecturas y consumos hasta la fecha, para el respectivo análisis y cuantificación de ahorro de agua, con el objetivo de que la Comisión de Cambio Climático conociera dichos buenos resultados.
10. Se realizó aforos para determinar la magnitud de las fugas, este procedimiento consistió en utilizar el mismo hidrómetro instalado y medir el flujo de agua que atraviesa el medidor entre el tiempo transcurrido.
11. Se contactó a los Mienbros de la Comisión del Programa Bandera Azul Ecologica de Cambio Climatico para solicitar la cantidad de funcionarios que laboran en cada uno de los edificios de la Sede Central de Pavas, con el propósito de determinar el porcentaje de agua promedio consumido por funcionario (dotación).

## **Analisis y Resultados Obtenidos del Proyecto**

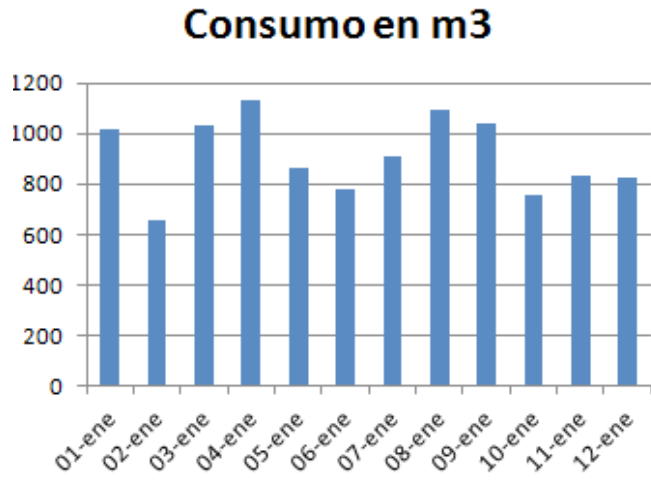
En el siguiente cuadro N° 1, se muestran los resultados del seguimiento de consumo antes y posterior a las mejoras realizadas, durante un lapso de 12 meses en cada caso.

**Cuadro N° 1**  
**Comparación de consumos y ahorro alcanzado**

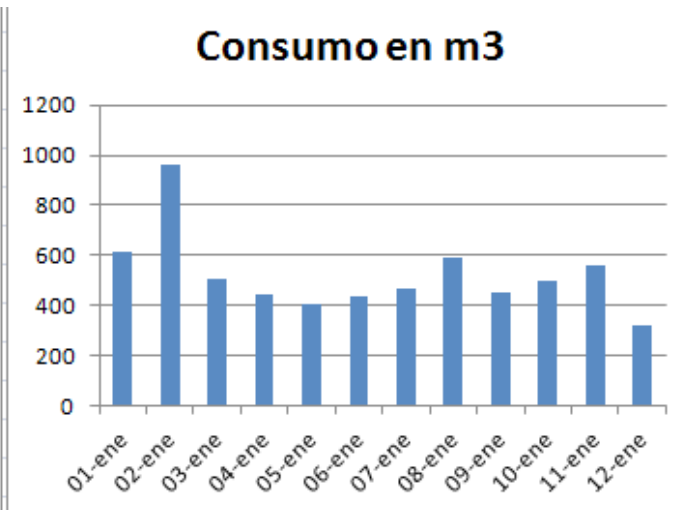
Año 2011-2012 Fecha	Consumo anterior			Consumo posterior				Ahorro mensual en m <sup>3</sup> (43%)	
	Lectura m <sup>3</sup>	Consumo m <sup>3</sup>	Consumo mensual promedio m <sup>3</sup>	Año 2012-2013 fecha	Lectura m <sup>3</sup>	Consumo m <sup>3</sup>	Consumo mensual promedio m <sup>3</sup>		
16-nov	4,787	----	912	18-dic	16,343	615	520	392	
19-dic	5,805	1,018		17-ene	17,302	959			
17-ene	6,463	658		19-feb	17,808	506			
16-feb	7,497	1,034		18-mar	18,250	442			
19-mar	8,631	1,134		18-abr	18,653	403			
20-abr	9,491	860		20-may	19,086	433			
17-may	10,267	776		17-jun	19,552	466			
19-jun	11,175	908		18-jul	20,141	589			
18-jul	12,271	1,096		20-ago	20,595	454			
21-ago	13,313	1,042		18-sep	21,092	497			
18-sep	14,069	756		21-oct	21,652	560			
17-oct	14,903	834		18-nov	21,970	318			
19-nov	15,728	825		----					

**Fuente:** Dirección de Desarrollo Tecnológico y OPEN.

**Gráfico N° 1**  
**Consumo módulos A,B y C antes de mejoras**



**Gráfico N° 2**  
**Consumo módulos A,B y C posterior a mejoras**



**Fuente:** Dirección de Desarrollo Tecnológico

**Fotografías del Proyecto**



**Fotografía No 1:** Tanque del servicio sanitario de bajo consumo de 3 litros por descarga



**Fotografía No 2:** Registro de consumo de servicio sanitario instalado



**Fotografía No 3:** Cuadrilla instalando el medidor principal



**Fotografía No 4:** Medidor principal instalado



**Fotografía No 5:** Caja de protección del medidor principal instalado



**Fotografía No 6:** Inspección del trabajo realizado

## Conclusiones generales

1. Se logró localizar, poner a derecho y medir la paja de agua que abastece a la Sede Central de AyA en Pavas y con ello, poner en orden la anomalía existente desde que los módulos de la Sede fueron construidas.
2. Evidenciar un consumo de agua potable en la propia sede del AyA superior a los 900 m<sup>3</sup> mensuales tributando al alto índice de agua no contabilizada que posee el AyA.
3. Con la medición se logró determinar el porcentaje de agua promedio consumido por cada funcionario (dotación), de esta forma facilitar un análisis de consumos, base para plantear una serie de acciones tendientes a reducir el consumo de agua como parte del objetivo del proyecto.
4. Se identificó las áreas y actividades de los tres edificios (módulo A, B y C) donde se registran los mayores consumos de agua, con el fin de priorizar las mejoras, modificaciones, reparación de fugas y daños, que permitieran el cumplimiento del objetivo primordial de lograr un ahorro de agua potable.
5. Se aplicó las mejoras propuestas, destacando como la acción más relevante la sustitución de todos los servicios sanitarios de los tres módulos.
6. Se logró **un ahorro del 43%** en el consumo de agua con las acciones y mejoras implementadas, de tal manera que el promedio de consumo mensual antes de la intervención y por un periodo de un año fue de 912 m<sup>3</sup>, y posterior a las mejoras el promedio se redujo a 520 m<sup>3</sup> por mes, evaluado en un periodo de un año para cada condición; esto trajo como beneficio **un ahorro mensual de 392 m<sup>3</sup> equivalente a 4,7 millones de litros en un año.**
7. Se logró determinar la dotación de consumo de agua por funcionario, que correspondió a 34 litros por día hábil una vez realizadas las mejoras, y sin éstas de 59 litros por funcionario por día hábil.
8. Desde la perspectiva económica, si bien se tiene una reducción de agua por este ahorro, en este caso de 392 m<sup>3</sup>/mes, ésta disponibilidad permitiría comercializarla, por ejemplo para el caso de una tarifa domiciliar, con ingresos del orden del millón de colones mensuales.
9. El ahorro obtenido fue un dato importante par el Programa de Bandera Azul ecología, la cual permitio mejorar los niveles de consumo de agua.

## Recomendaciones finales

1. Establecer una comparación sobre el consumo de agua potable obtenido de la experiencia realizada en Pavas (dotación de 34 litros / funcionario / día hábil), con el objeto de medirlo con el resto de las oficinas, planteles y agencias del AyA, de manera que sirva como diagnóstico para tomar las acciones correctivas pertinentes.

2. Plantear como proyecto piloto el llevado a cabo en AyA en Pavas para el ahorro del agua potable, con el propósito de ser difundido y ser implementado en otras instituciones gubernamentales, donde se motive el alcanzar logros similares respecto al ahorro del recurso hídrico, mediante concientización y uso de tecnologías ahorradoras de agua disponibles.
3. En razón de la exitosa experiencia con el uso de servicios sanitarios de bajo consumo (3 litros por descarga), se planteará al Ministerio de Educación Pública sobre la plataforma del Convenio vigente AyA-MEP, una propuesta para la sustitución de los servicios sanitarios, lo cual forma parte de las atribuciones y recomendaciones técnicas que le competen al AyA en dicho Convenio.
4. Se recomienda a la Dirección de Desarrollo Tecnológico mantener un seguimiento en la investigación de nuevas tecnologías y sistemas que permitan ser implementadas en otros servicios propios del AyA, a fin de lograr mayores índices de ahorro de agua, tales como nuevos sistemas automatizados, servicios sanitarios de bajo consumo, etc.
5. Que el AyA mantenga su política de realizar evaluaciones del consumo de agua en los servicios propios, mediante la realización de aforos, para determinar la existencia de fugas y tomar acciones correctivas.

## Agradecimiento

A los compañeros Allan Roda, Cristhian Cordero, Félix Cruz, Eugenio Ordoñez, Luis López, Steven Rojas, Francisco Flores, quienes realizaron el trabajo de campo, al Ing. Eliecer Calvo; Ing. Eloy Rojas y su equipo de colaboradores, Ing. Franklin Chavarría; Licda. Alejandra Peraza, Licda. Elvira Guevara; Sra. Paola Uba, Ing. Noelia Pérez.

## Referencias Bibliográficas

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, (1998). Open-Sistema de Gestión Comercial. San José, C.R.: AyA.



José Manuel  
Quirós Sanabria <sup>1</sup>

## Calidad biológica del agua superficial del Humedal Ramsar Caño Negro, Los Chiles, Alajuela

### Resumen

En la siguiente investigación se aplicó el índice biológico BMWP'-CR (Biological Monitoring Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers, La Gaceta, 2007), utilizando los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de contaminación acuática. Esto con el fin de establecer la calidad biológica del agua del Humedal de Caño Negro y al mismo tiempo conocer si se produjeron daños en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y de otros organismos que se alimentan de los mismos, como peces y aves.

Por las denuncias de algunas personas observaron en días pasados, una cantidad considerable de peces muertos en el humedal, específicamente en la desembocadura del Río Mónico, por supuesta contaminación con plaguicidas. Se analizó 5 estaciones de muestreo, de las cuales, la mejor calidad biológica se presentó en la estación 1, correspondiente a la

laguna Playuelas, en la que se obtuvo una calidad biológica clase 3, con código de color amarillo, esto indicó una condición intermedia de contaminación, representando un 20% del total de las estaciones de muestreo, con esta calidad.

Por otra parte, la estación de muestreo 3, desembocadura de Río Frío presentó el peor índice de calidad, clase 5, con coloración roja, representando otro 20% de las 5 estaciones muestreadas y una calidad muy baja desde el punto de vista del BMWP'-CR, finalmente en las estaciones de muestreo 3, 4 y 5 se obtuvo un índice biológico con coloración naranja y clase 4, representando un 60% de las estaciones muestreadas, esto indicó aguas más contaminadas que en la estación 1 y mejoró con respecto a la estación 2. Los resultados obtenidos de la concentración de plaguicidas presentaron resultados negativos (ausencia).

**Palabras clave:** Humedal Ramsar Caño Negro-Los Chiles, Alajuela, calidad biológica, bioindicadores-contaminación, macroinvertebrados bentónicos, aguas superficiales, biológico, BMWP'-CR.

<sup>1</sup> Licenciado en Biología Tropical, especialista en Sistemas de agua.  
Laboratorio Nacional de Aguas. AyA. jquiros@aya.go.cr

## Abstract

In the following research the biological index BMWP' -CR was applied (Biological Monitoring Party modified for Costa Rica by Astorga, Martinez, Springer and Flowers, La Gaceta, 2007), using benthic macro-invertebrates as indicators of water pollution. This was done in order to establish the biological quality of the water in the Caño Negro Wetlands; and, at the same time, to know if any damage occurred in the community structure of benthic macro-invertebrates and other organisms that feed from them, such as fish and birds.

Contamination with pesticides was alleged by the complaints of some people who in the past few days noticed a considerable amount of dead fish in the wetland, specifically in the mouth of Monico River. In total 5 sampling stations were analyzed, of those the best biological quality was presented in station 1, corresponding to the Playuelas Lagoon, in which biological quality class 3 was obtained, color coded yellow, this indicated an intermediate condition of pollution, representing 20% of the total number of sampling stations with this quality.

On the other hand, the sampling station 3, the Río Frío Estuary, presented the worst quality index, rated class 5, with red coloring, representing another 20% of the 5 stations sampled, and a very low quality according to the BMWP' -CR scale. Finally at the sampling stations 3, 4 and 5, a biological index orange coloring and class 4 were the results obtained, representing 60% of the stations sampled; this indicated more polluted waters than in station 1 and improvement in regard to station 2. The results obtained from pesticides concentration had negative results (absence).

**Keywords:** Ramsar Wetland Caño Negro-Los Chiles, Alajuela, biological quality , bioindicators - contamination , benthic microinvertebrates , surface water, BMWP' -CR.

## Introducción

El día 26 de julio del 2011 se realizó una visita en conjunto con funcionarios de La Contraloría General de La República de Costa Rica y funcionarios del Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), al Humedal Ramsar, Refugio Nacional de Fauna Silvestre Caño Negro, ubicado en el Cantón de Los Chiles, Alajuela, Costa Rica. Éste es considerado como el tercer humedal más importante del mundo, grupos de conservación como Ramsar lo designaron como "área mundialmente protegida". Caño Negro posee un área de 10,171 hectáreas, se localiza en la parte baja de la cuenca del Río Frío, en las llanuras del norte de Costa Rica, 21 Km al suroeste de la comunidad de Los Chiles y 36 Km al sureste del pueblo de Upala, de la provincia de Alajuela, Costa Rica. El clima muestra condiciones del pacífico y del caribe, pero está más influenciado por los patrones de vientos de nubosidad del sector del caribe. Las intensas lluvias producidas de mayo a enero aportan de 2500 a 3000 mm anuales. Las temperaturas oscilan entre los 25- 27 °C.

En cuanto a la flora y fauna, este humedal es fuente de alimento para aves migratorias del norte del continente. Existen especies de plantas y animales que no se encuentran en otras partes del país, gran abundancia de aves y peces para el consumo humano y es una de las pocas partes donde se encuentra el pez Gaspar o lagarto (*Atractosteus tropicus*), considerado un fósil viviente.

La visita se realizó con el objetivo de medir la calidad biológica del agua de este humedal y además realizar una descripción sobre la situación en que se observa dicho sitio actualmente. Este humedal es influenciado por el Río Frío que nace en las cercanías del volcán Tenorio. Durante la visita se tomaron muestras de agua y de sedimentos, con el fin de conocer la calidad del agua en esos sitios de muestreo. Debido a lo anterior, se determinó el estado de contaminación del agua por medio de la utilización de bioindicadores de contaminación, para eso se utilizaron los macroinvertebrados bentónicos; estos son organismos que habitan principalmente en los sedimentos de los cuerpos de agua superficiales y son visibles sin la utilización de un microscopio. También se colectaron muestras microbiológicas, de plaguicidas y se midieron en el sitio, algunos parámetros como la temperatura, el pH, la conductividad y la turbidez del agua.

De acuerdo a APHA (2012), los macroinvertebrados bentónicos utilizados para el estudio, son aquellos que quedan retenidos en un tamiz N° 30 de la U.S Standard, de 0.595 mm. de abertura. Según Internet, Encarta (2003), los bioindicadores se emplean para evaluar la calidad media que mantiene el agua en períodos más o menos largos. Según Cairns & Kennet (1971), los organismos bentónicos son utilizados debido a que algunas especies son extremadamente sensibles a la contaminación y responden alejándose rápidamente de algún sitio que haya sido alterado, además, la fauna bentónica por lo general tiene un ciclo de vida de algunos meses o más y su forma de vida no está sujeta a migraciones continuas, por lo que sirven como monitores naturales de la calidad del agua. Para clasificar biológicamente los cuerpos de agua superficiales, se han utilizado

distintos índices biológicos, principalmente el grupo de los macroinvertebrados bentónicos. Entre estos índices se encuentran el Índice Biológico Belga, descrito por De Pauw y Vanhooren (1983) y el Índice Biológico Global, elaborado por Verneaux et al. (1982). El BMWP'-CR fue aplicado por Quirós (2004), en el Río Barranca y en la Cuenca del Río Quebradas en el 2005. Así mismo, se ha utilizado en otros estudios. Para la clasificación biológica y microbiológica de las estaciones de muestreo se utilizó el decreto N° 33903 "Reglamento para la Evaluación y clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales", La Gaceta, Costa Rica, setiembre del 2007.

Por otro lado, la concentración de coliformes fecales detectada, se relacionó con la calidad biológica obtenida en las 5 estaciones de muestreo, siendo menor en la estación de laguna Playuelas, correspondiendo a la relación existente entre la concentración de coliformes fecales versus el índice biológico BMWP'-CR. Así mismo, otras variables como la turbidez del agua, también se relacionó con los valores de los índices biológicos obtenidos en este estudio, dándose una relación inversamente proporcional entre ambos parámetros. Finalmente, los resultados de los análisis de plaguicidas, no detectaron la presencia de estos en el agua.

## Objetivos

### Objetivo General:

1. Conocer la calidad biológica del Humedal Ramsar Caño Negro, por medio del Índice Biológico BMWP'-CR.

## Objetivos Específicos:

1. Conocer la riqueza biológica y la abundancia poblacional de los macroinvertebrados bentónicos en 5 estaciones de muestreo.
2. Detectar si hay presencia o ausencia de plaguicidas en el agua superficial del Humedal de Caño Negro.
3. Determinar algunos parámetros físico-químicos del agua en el humedal.

## Materiales y métodos

En esta investigación se utilizó la metodología descrita en el capítulo V del monitoreo biológico del decreto 33903 “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales” (2007, setiembre, La Gaceta, C.R). Este reglamento establece como organismos indicadores de la calidad del agua a los grupos representantes de los macroinvertebrados bentónicos. Los macroinvertebrados bentónicos son organismos acuáticos pertenecientes al grupo de los invertebrados que viven adheridos al sustrato o fondo de un cuerpo de agua. La metodología utilizada para la recolección de las muestras fue la siguiente:

Se realizó un muestreo en cada una de las 5 estaciones de muestreo (Figura 1). La técnica utilizada fue para todos los casos la red de mano o red blanca, con malla de 500  $\mu\text{m}$  de poro y apertura de 20 a 25 cm.. Las estaciones de muestreo fueron las siguientes:

1. Laguna Playuelas.
2. Desembocadura Río Frío.
3. Río Frío viejo desembocadura .
4. Desembocadura del Río Mónico.
5. Laguna principal de Caño Negro.

**Figura N° 1**  
**Laguna Principal Caño Negro**



La zona de muestreo incluyó diversos microhábitats dentro del humedal, orillas hasta un metro y medio de profundidad, cada muestra compuesta de tres sub-muestras colectadas con la red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se llevó a cabo con el desplazamiento de la red por los microhábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del cuerpo de agua y colectando el material removido en la red.

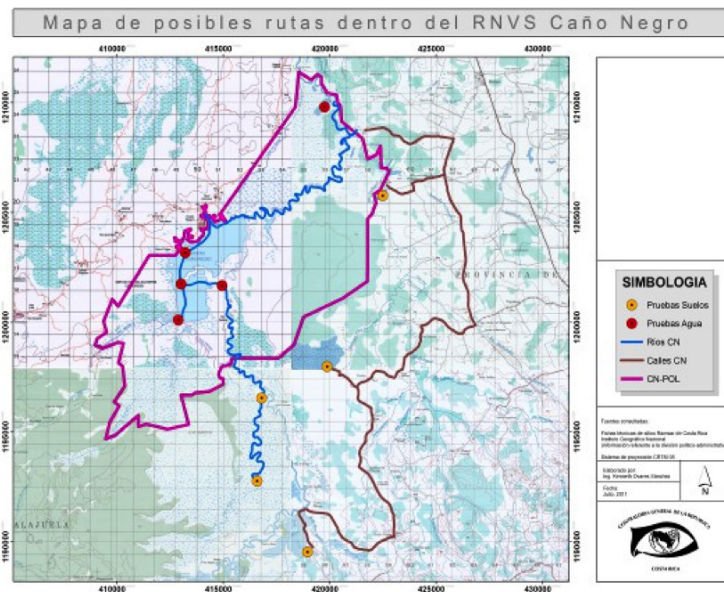
Las muestras biológicas recolectadas fueron introducidas en recipientes plásticos con etanol de 95°. Luego el sedimento colectado fue lavado y depositado en una bandeja plástica blanca, seguidamente se procedió a sacar con pinzas, los macroinvertebrados bentónicos presentes en cada muestra. Estos fueron colocados en viales plásticos conteniendo alcohol de 70% de concentración. Para realizar el análisis de las muestras de

macroinvertebrados bentónicos se utilizó también la metodología establecida en la última edición de los “Rapid Assessment Biological Protocols” de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América. Todos los organismos bentónicos recolectados fueron identificados con un estereoscopio, utilizando diferentes claves dicotómicas hasta el nivel taxonómico de familia, con excepción del Phylum Annelida y el Sub Orden Hydracarina. Los resultados del análisis de las muestras de organismos bentónicos se presentaron en forma cuantitativa y cualitativa, detallando la lista taxonómica de los organismos encontrados, el número total de organismos o abundancia, el número total de taxa o Riqueza biológica (familias) y el valor del Índice Biológico: BMWP-CR. Este índice se calculó sumando el total de las puntuaciones asignadas a los distintos

taxones (familias), dicha puntuación tiene un rango de 1 a 9, siendo las familias de menor puntuación las que se encuentran en aguas contaminadas, las de puntuación intermedia, los organismos tolerantes a cierto grado de contaminación y las de mayor puntaje, los organismos más sensibles a la contaminación.

Al mismo tiempo se colectaron muestras microbiológicas, las cuales fueron recolectadas y custodiadas adecuadamente y fueron procesadas en el Área de Microbiología del Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), para los estudios pertinentes, las muestra de detección de plaguicidas se analizaron en el Laboratorio CHEMLABS y los análisis de conductividad, turbidez y pH se realizaron en el sitio de muestreo.

**Figura N° 2**  
**Ubicación de las 5 estaciones de muestreo (pruebas de agua) en el Humedal Caño Negro**



**Fuente:** Ing. Kenneth Ovares Sanchez. Contraloría General de la República. Julio, 2011.

En el cuadro 1, se presenta la interpretación del significado de los valores de puntuación obtenidos con el Índice Biológico BMWP'-CR según La Gaceta, Decreto 33903, setiembre del 2007. Una puntuación total entre 101 y 120 o más, indica aguas

de calidad excelente y el color representativo es el azul, luego conforme la puntuación total disminuye, la calidad del agua se va deteriorando hasta llegar a un nivel crítico de contaminación extremada, representado por el color rojo.

**Cuadro N° 1**  
**Clasificación de la Calidad Biológica del Agua del Puntaje**  
**Total Obtenido con el BMWP'-CR**

Nivel de Calidad	BMWP'-CR	Clase de Río	Color Representativo
Aguas de Calidad Excelente	> 120	1	Azul
Aguas de Calidad Buena No contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	1	Azul
Aguas de Calidad Regular, eutrofia, contaminación Moderada	61-100	2	Verde
Aguas de Calidad Mala, Contaminadas	36-60	3	Amarillo
Aguas de Calidad Mala, Muy Contaminadas	16-35	4	Naranja
Aguas de Calidad muy Mala, Extremadamente Contaminadas	<15	4	Rojo

## Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados del Índice BMWP'-CR, de la abundancia poblacional y de la identificación taxonómica hasta el nivel de familia, de los macroinvertebrados bentónicos, presentes en cada estación de muestreo. En la estación de muestreo 1 (laguna playuelas), se identificó a 10 familias (riqueza biológica) de macroinvertebrados bentónicos, con una mayor abundancia de las familias Chironomidae (50) y Dytiscidae (5). La menor abundancia la presentaron las familias Hydrophilidae (1), Baetidae (1), Corixidae (1) y Belostomatidae (1). En esta estación se obtuvo la mayor riqueza biológica y la mayor abundancia poblacional de los cinco sitios muestreados (67). Se obtuvo el mayor valor del índice biológico BMWP'-CR de 36, con agua de calidad clase 3 y código de color amarillo. Es importante mencionar que en esta estación de muestreo, se encontró la familia Libellulidae, esta fue abundante en su estadio adulto. Las familias de mayor puntaje taxonómico fueron Libellulidae (6) y Baetidae (5). Las familias de menor valor fueron Lumbricullidae (1) y Chironomidae (2) y otras familias de valor intermedio fueron Corixidae (4), Belostomatidae (4) y Dytiscidae (4). En este sitio se debe considerar, que aunado a la colecta de alevines de peces como el sábalo y el guapote tigre, posee contaminación incipiente o leve. También la turbidez del agua fue baja, esto incide en el mayor valor del índice biológico obtenido ya que, a menor turbidez por lo general, mayor valor de índice biológico y menor abundancia poblacional, debido principalmente al aumento en los caudales de ríos o lagunas, lo cual produce un aumento en el volumen y la velocidad del caudal, produciendo el efecto de arrastre de organismos y un aumento en

el lavado de sedimentos, que son depositados en los cuerpos de aguas superficiales.

En la estación de muestreo 2 (Río Frío desembocadura), se obtuvo un índice BMWP'-CR de 9, clase 5, con más contaminación y código de color rojo, fue el menor valor de las 5 estaciones, se identificó a 3 familias (riqueza biológica) de macroinvertebrados bentónicos, con una mayor abundancia de la familia Lumbricullidae (3). La menor abundancia la presentaron las familias Leptoceridae (1), familia que tiene un alto puntaje (8) y que se encuentra en sitios poco contaminados y Veliidae (1), esta familia aunque no tiene puntaje, se consideró importante ya que se encuentran formando grupos en aguas con poca o ninguna contaminación, debido a que en aguas contaminadas no pueden mantenerse en la superficie, como producto de las variaciones que ocurren en la tensión superficial del agua.

Este sitio de muestreo presentó una alta turbidez, esto pudo influir en la poca diversidad y poca abundancia de organismos bentónicos en este sitio de muestreo, ya que a mayor turbidez, por lo general, menor diversidad y abundancia. Según Dagne et al. (2005), existe una estrecha relación entre la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de absorción de contaminantes como plaguicidas y nutrientes, al control que ejercen sobre la turbiedad del agua y su absorción de calor que aumenta la temperatura del agua.

En la estación de muestreo 3 (Río Frío Viejo, desembocadura), se obtuvo un índice BMWP'-CR de 17 con código de color naranja y clase 4, con alta contaminación. Se identificó a 5 familias de macroinvertebrados bentónicos, con una

mayor abundancia de la familia Chironomidae (5) y Libellulidae (3). La menor abundancia la presentaron las familias Dytiscidae (1), Haliplidae (2) y Lumbricullidae (2). En esta estación, la familia Libellulidae obtuvo el mayor puntaje taxonómico, esta familia de libélulas fue abundante en su estadio adulto; las familias Dytiscidae y Haliplidae (4) con un valor intermedio y el menor valor las familias Lumbricullidae (1) y Chironomidae (2).

En la estación de muestreo 4 (desembocadura del Río Mónico), se obtuvo un índice BMWP'-CR de 24 clase 4, con código de color naranja y según el decreto 33903, indica alta contaminación. Se identificó a 6 familias diferentes (riqueza biológica) de macroinvertebrados bentónicos, con una mayor abundancia de la familia Chironomidae (10) y Libellulidae (3). La menor abundancia la presentaron las familias Dytiscidae (1), Ceratopogonidae (1) e Hydrobidae (1). La familia con mayor puntaje biológico fue de nuevo Libellulidae (6) y la de menor puntaje Chironomidae (2). No se observó ninguna anomalía con respecto a observar peces, ni otros organismos muertos. En esta estación de muestreo se vio gran cantidad y diversidad de mariposas (Lepidóptera) y Odonatos, sobrevolando en este sitio.

En la estación de muestreo 5 (laguna principal), sitio se obtuvo un valor del índice BMWP'-CR de 25, clase 4, con código de color naranja y con contaminación, se identificó a 6 familias (riqueza biológica) de los macroinvertebrados bentónicos, con una mayor abundancia de la familia Chironomidae (5). La menor abundancia la presentaron las familias Dytiscidae (1), Libellulidae (1), Baetidae (1) y Planorbidae (1). La familia con mayor puntaje biológico fue Libellulidae al igual que en las 2 estaciones anteriores (6) y la de menor

puntaje Chironomidae (2). Las de puntaje intermedio fueron Dytiscidae (4), Baetidae (5) y Polymitarciidae (5). Se obtuvo un índice biológico de 25, por lo que se clasificó biológicamente como clase 4, con contaminación, aunque se debe considerar que esta muestra se tomó aproximadamente a un metro de profundidad, que en esta estación de muestreo las aguas son lénticas (quietas), por lo que tienden a estar altamente eutrofizadas, produciéndose al mismo tiempo, una disminución en la concentración de oxígeno disuelto, con respecto a los cuerpos de agua que están en constante movimiento (lóticos) y por lo tanto poseen mayores concentraciones de oxígeno disuelto.

En total en toda la laguna, se identificó a 16 familias diferentes (riqueza biológica) de macroinvertebrados bentónicos, con una mayor abundancia de las familias Chironomidae (70), Libellulidae (13) y Dytiscidae (13). La menor abundancia total la presentaron las familia Ceratopogonidae, Hydrophilidae, Corixidae, Belostomatidae e Hydrobiidae, todas con (1). Otras familias como Baetidae (4) y Lumbricullidae presentaron una abundancia intermedia.

Se ha encontrado que en cuerpos de agua lénticos (sin corriente) y poco profundos, la familia de dípteros Chironomidae son el grupo de insectos dominantes (McCafferty 1983, Pennak 1989, Ward 1992, Thorp & Covich 2001). (Citados por Trama et al. 2009). La abundancia de Chironomidae coincide con lo mencionado por Ward (1992), quien afirma que en los humedales donde hay peces, los invertebrados más abundantes, como es el caso de Caño Negro, son los de la familia Chironomidae, en comparación con lugares donde no hay peces.

Es importante mencionar que se colectó familias pertenecientes a los tres grupos existentes de tolerancia a la contaminación. Por ejemplo, se encontró familias sensibles a la contaminación como Leptoceridae (8) y Libellulidae (6). También se colectó familias de organismos tolerantes a cierto grado de contaminación como Libellulidae (6), Baetidae (5) y Polymitaryidae (5). Finalmente se colectó familias resistentes a la contaminación como Lumbricullidae (1) y Chironomidae (2).

En el cuadro 2, se presentó los resultados de los parámetros determinados en el sitio. Con respecto al pH, el mayor valor se obtuvo en las estaciones de muestreo 2 y 3 (6,31) y el menor en la estación 4 (5,42). Estos valores de pH son ácidos y clasifican las estaciones de muestreo, según el valor de pH como clases 4 y 5, esta clasificación coincide con la obtenida desde el punto de vista biológico para las estaciones de muestreo 2, 3, 4 y 5, no así con la

estación 1. Según Wikipedia (2011), el pH determina muchas características notables de la estructura y actividad de las biomacromoléculas y, por tanto, del comportamiento de las células y organismos. La acidez puede causarse por la presencia de ácidos débiles, dióxido de carbono, ácidos grasos y desperdicios industriales, entre otros factores.

Con respecto a la conductividad, la mayor se obtuvo en la estación de muestreo 2 (79 us/cm) y la menor en la estación de muestreo 4 (33 us). Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para aguas superficiales. Finalmente con respecto a la turbiedad, el mayor valor se presentó en la estación 3 (42,3) y el menor en la estación 1, laguna playuelas (1,42). Estas variaciones pueden afectar los valores de los índices biológicos ya que a mayor turbiedad menor riqueza biológica y a menor turbiedad mayor riqueza biológica y por consiguiente mayores valores de índices biológicos.

**Cuadro N° 2**  
**Parámetros físico-químicos en 5 estaciones de muestreo del**  
**Humedal Caño Negro, 26 de julio del 2011**

Estación de muestreo	Tipo de agua según pH	pH	Conductividad us/cm	Turbiedad UNT
RCNE1: Laguna Playuelas	Ácida	5,72	58	1,42
RCNE2: Río Frío Desembocadura	Ácida	6,31	79	37,4
RCNE3: Río Frío Viejo	Ácida	6,31	58	42,3
RCNE4: Río Mónico Desembocadura	Ácida	5,42	33	17,4
RCNE 5: Laguna Caño Negro	Ácida	5,82	56	9,29

## Conclusiones

Desde el punto de vista biológico y de acuerdo con los índices BMWP<sup>-</sup> CR obtenidos en esta investigación, en términos generales, el humedal Ramsar de Caño Negro, presentó una riqueza biológica considerable, encontrándose en promedio en la categoría 3, código amarillo, intermedio y muy cercano a la categoría de calidad 4, con código de color verde. Las diferencias encontradas entre las 5 estaciones de muestreo, pudieron deberse a que el humedal está en temporada de llena y los sitios que presentaron los menores valores de riqueza biológica y abundancia poblacional fueron influenciados en mayor medida por las velocidades de corriente de los caudales y las condiciones físicoquímicas del agua, imperantes en esta época del año, como la alta turbidez obtenida en algunas estaciones de muestreo. Es importante mencionar que durante la visita al refugio no se observaron peces muertos y se colectaron alevines vivos de sábalo real (*Megalops atlanticus*) y de guapote tigre (*Parachromis managuensis*), se observó una considerable diversidad de aves acuáticas como cormoranes (*Phalacrocorax olivaceus*), el pato aguja (*Anhinga anhinga*), la jacana (*Jacana spinosa*) y el pato pichi (*Dendrocygna autumnales*), que también son utilizadas como indicadores biológicos de la calidad de los cuerpos de agua superficiales. Así mismo, la presencia de caimanes (*Caiman crocodilus*) indica que hay un buen suministro de peces que les sirven de alimento. Por lo anterior, se puede decir que actualmente el humedal Ramsar de Caño Negro dichosamente, aun es un ecosistema saludable.

## Agradecimientos

Al Dr. Darner Mora Alvarado, director del Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, por su confianza y apoyo para realizar este estudio. A mi excompañero de trabajo Roberto Fonseca. A los compañeros de la Contraloría General de La República de Costa Rica, Ing. Kenneth Ovares y el Lic. Omar Mora, por su colaboración en la realización de la parte logística de este estudio. También a los funcionarios del Refugio Caño Negro y del MINAET por su enorme colaboración.

Al Ing. Kenneth Ovares de la CGR por la realización del mapa de las pruebas de agua.

## Referencias Bibliográficas

- APHA. AWWA. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14 th. Ed. USA. 996 p.
- -Bussing, W, A. (1987). Segunda Edición. Peces de las aguas Continentales de Costa Rica. Revista de Biología Tropical. Universidad de Costa Rica.
- -Cairns, J & Kennet, L, D. (1971). A Simple Method for the Biological Assesment of the effects of waste dwellin organism. Water Pollution Control. (755-772).

- Dagne, D., W. Owens & P. Tchouwou. (2005). Comparative assessment of the physico-chemical and bacteriological qualities of selected streams in Louisiana. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2: 94-100.
- -De Pauw, N & G. Vanhooren. (1983). Meted for biological quality assessment of Watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*. 100 (153-168).
- Costa Rica. Leyes y Decretos. (2007) Decreto N. 33903 Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas Superficiales. San José. CR.: MINSA; MINAET.
- Roldán, G.R. (1980). Los invertebrados acuáticos como indicadores ecológicos. Universidad de Antioquia. Colombia. 86-91 pp.
- Trama, F.A., F. L, Rizo & Springer, M. (2009). Macroinvertebrados bentónicos del humedal Palo Verde, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. Biol.* ISSN-0034-7744). Vol. 57 (Suppl.1): 275-284, November, 2009.
- Ward, J.V. (1992). *Aquatic insect ecology*. 1. Biology and habitat. John Wiley & Sons, Inc., New York, EEUU.



Jorge  
Hidalgo Madriz <sup>1</sup>



Hernán  
Villalobos Slon <sup>2</sup>

## Mejora en la calidad de la información hidrometeorológica del AyA

### Resumen

Se expone el Proyecto de Modernización del Programa Nacional de Monitoreo de Información Hidrológica del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), abarcando el estado de situación existente al inicio del proyecto, la generación de capacidades, los intercambios de experiencias con distintos servicios hidrometeorológicos (nacionales e internacionales), así como los montos invertidos en la red para lograr la cobertura actual. Se realiza un énfasis en la utilización de hidroacústica en las mediciones de caudal en ríos y se finaliza indicando el futuro de la red.

**Palabras clave:** Estación Hidrometeorológica, Hidroacústica, medición, estación metereológica, pluviómetros, Río Banano-Limón.

### Abstract

The Modernization Project of the National Hydrological Information Monitoring Program from the AyA is herein presented, covering the status at the beginning of the project, capacity building, experiences exchange with other hydro-meteorological services (both national and international), as well as the amounts invested in getting the network to have full national coverage. The use of hydroacoustics for streamflow measurement was emphasized, and lastly the future of the network was pointed out.

**Keywords:** Hydrometeorological Station, Hydroacoustic, measurement, weather station, rain gauges, Banano River-Limón.

### Introducción

La gestión de cualquier proceso, requiere de la recolección de información de las variables que inciden en su ejecución, datos tomados durante el proceso, que permitan su modelado, mejora, entendimiento y control.

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, Máster en hidrología. Dirección de Hidrología.  
jhidalgom@aya.go.cr

<sup>2</sup> Ingeniero Civil, Gerente técnico en Campbell Scientific Centro Caribe.  
hvillalobos@aya.go.cr

El ciclo hidrológico, es uno de los procesos más interesantes e importantes, tanto para la subsistencia de la vida, como para parte del quehacer del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el suministro del agua potable.

Entendiendo la necesidad de cuantificar el flujo del agua durante el ciclo, como herramienta para su captación y distribución, se ha iniciado un proyecto de instrumentación de cuencas donde se miden los parámetros más relevantes para la cuantificación del agua durante el complejo ciclo hidrológico. Esto requiere de la colocación de equipos de medición en las cuencas, para determinar los volúmenes de agua que ingresan (precipitación) y los que salen (Caudal, flujo subterráneo y evaporación).

Este documento presenta el detalle de las tareas realizadas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, con miras a mejorar la medición de los procesos antes mencionados del ciclo hidrológico.

## Antecedentes

A mediados de la década de los sesenta, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), inició la colocación de pluviómetros totalizadores. Estos operaban de forma manual, de manera que un operario recolectaba diariamente la lluvia capturada, la cuantificaba con una probeta, y reportaba en una bitácora de forma diaria los valores medidos. Se colocaron en total 33 pluviómetros totalizadores, de los cuales 12 se encontraban funcionando sin supervisión o control en el momento en que se decidió iniciar un nuevo plan de instrumentación de cuencas. La

información generada por pluviómetros, no era sometida a ningún tipo de análisis, verificación o validación. La figura No. 1 muestra la ubicación de los pluviómetros totalizadores.

**Figura N° 1**  
**Ubicación de pluviómetros totalizadores**



En el año 2007, se compararon 29 estaciones automáticas. Sin embargo, el equipo comprado era de baja calidad y no confiable para la recolección de datos en forma sistemática y científica. Las 29 estaciones rápidamente salieron de operación y se inició a través de capacitación con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y cooperación de otras instituciones (Nacionales e internacionales), un proceso de mejora en la instrumentación de cuencas hidrográficas.

De la misma manera, a inicio de la década de los sesenta, se inició la realización de aforos por vadeo para la estimación de caudales en ríos, pero sin la colocación de estaciones fluviográficas

permanentes. Sin embargo, de la misma forma en que sucedía con los pluviómetros, la información no era validada o verificada, ni se asociaba a niveles o estaciones para la generación de registros continuos. Como parte de la mejora en la instrumentación, se realizó modificaciones en la forma y tecnología de medición, de tal manera que estas mediciones se continúan realizando al día de hoy, pero con la incorporación de nuevas tecnologías, mayores controles y la colocación de estaciones fluviográficas.

## Curso Operación y Mantenimiento - OMM

Debido a la situación detallada anteriormente, en cuanto a las deficiencias en el manejo de la información hidrológica, se inició de forma incipiente en el 2010, con el Proyecto de Modernización del Programa Nacional de Monitoreo de Información Hidrológica del AyA.

Entre el 19 y el 30 de julio de 2010 se impartió en Costa Rica el curso sobre instalación, operación y mantenimiento de estaciones hidrometeorológicas Automáticas (EMHA), con una participación de 18 técnicos y profesionales, de Costa Rica (16), El Salvador (1) y Guatemala (1). Los instructores fueron Julio Miguel Llinas Guzmán (q.e.p.d.), Eloy Júpiter (ambos de República Dominicana) y Manuel Bañón (España). Mediante la aprobación del curso dos profesionales del AyA obtuvieron la acreditación de la OMM como **Técnicos en Instalación y Operación de Estaciones Hidrometeorológicas**. Al curso asistieron 6 participantes del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y 5 del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), quienes

trabajan directamente con las EHMA, lo que sirvió para el intercambio de experiencias y conocimientos en cuanto al equipo, este curso y primeros contactos fueron fundamentales en el desarrollo de la red, puesto que generó las guías necesarias para iniciar adecuadamente con las mejoras requeridas.

## Compra de equipo

El Proyecto de Modernización tiene como objetivo desarrollar la plataforma de instrumentación hidrometeorológica necesaria para realizar una medición del recurso hídrico estadística e hidrológicamente confiable, con el fin de satisfacer las necesidades institucionales en cuanto a la gestión adecuada del recurso hídrico. Al iniciar con el proyecto la principal preocupación consistía en garantizar la sostenibilidad de las inversiones necesarias para la modernización, en especial el equipo que se debía adquirir, ya que debía cubrir las deficiencias en cuanto a la calidad y continuidad del registro, además de mejorar la resolución temporal de las mediciones hidrológicas. De esta manera, en el 2011 se realiza la primera compra de equipo. Para la adquisición se homologaron los estándares utilizados por las instituciones públicas del país que cuentan con redes de estaciones meteorológicas e hidrológicas (ICE e IMN), los cuales en sus redes de medición utilizan registradores del fabricante estadounidense Campbell Scientific y sensores compatibles con estos registradores.

Para la medición de la precipitación se reemplazaron los pluviómetros totalizadores con pluviómetros de cazoleta basculante (figura No. 2).

**Figura N° 2**  
**Cambio en los sensores de precipitación**



Para las estaciones meteorológicas también se adquirieron sensores de temperatura y humedad, modelo CS215. Para la medición continua de los cauces en ríos se adquirieron sensores de nivel, de 3 tipos: Transductores de Presión (Figura No. 3a), Neumáticos de burbuja (Figura No. 3b) y Ultrasónicos (Figura No. 3c).

**Figura N° 3**  
**Sensores de nivel adquiridos**



El equipo de transmisión utilizado en las estaciones es de dos tipos: Celular GPRS (Figura 3d) y Satelital GOES (Figura 3e). Además del equipo anteriormente mencionado en el 2015 se adquirió un sensor de velocidad y dirección del viento, así como un sensor de radiación.

### Proyecto de Cooperación

A partir de la experiencia chilena en instrumentación de cuencas, se planteó un proyecto de cooperación binacional, que permitiese a funcionarios del AyA, conocer el trabajo realizado por el Departamento de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas de Chile y a partir de esta transmisión de conocimiento, definir adecuadamente las necesidades por satisfacer y capacidades a generar para el desarrollo y sostenibilidad de la red propia.

De esta manera, se realizó una primera gira técnica a Chile, del 19 al 24 de Agosto de 2012, donde se visitó estaciones hidrológicas, oficinas del Departamento de Hidrología, se analizó los equipos utilizados, estructuras de trabajo y la forma de procesar y almacenar la información. La figura No. 4 muestra las visita a la estación Río Mapocho en los Almendros, en Santiago de Chile.

**Figura N° 4**  
**Estación Río Mapocho en Los Almendros,**  
**Chile.**



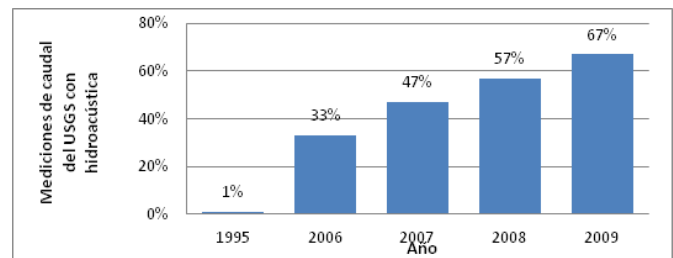
Posteriormente los funcionarios Guillermo Madariaga Meza y José Miñano Copano visitaron Costa Rica para dar recomendaciones al avance del proyecto y se definió la necesidad de una segunda visita de funcionarios costarricenses, para recibir capacitación en temas como manejo de datos y curvas de descarga de estaciones hidrológicas, la cual se llevó a cabo en la semana de 24 al 31 de Agosto de 2013.

## Hidroacústica

En el 2012, del 5 al 7 de setiembre, como parte de la generación de capacidades en el departamento, se asiste al congreso RiverFlow2012 el cual se realiza en Costa Rica, este congreso es organizado por la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (AIRH-IAHR). En este congreso se pudieron observar exposiciones de altísimo nivel científico y se prestó principal atención al auge que tenía la

medición hidroacústica en la hidrometría a nivel mundial. Como ejemplo de avance de hidrometría se analiza el caso del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), donde en la última década el avance en la hidrometría acústica ha sido muy importante (ver la Figura No. 5), hasta convertirse actualmente en la principal forma de medición de caudales.

**Figura N° 5**  
**Mediciones de caudal que realiza el**  
**USGS con Hidroacústica**



**Fuente:** USGS, 2012.

Debido a lo anterior en el AyA se decide que si va a mejorar la medición hidrológica, se debe utilizar el mejor equipo disponible para realizar las mediciones hidrológicas. A inicios del 2013 se realiza la compra de 2 Aforadores Acústicos por Efecto Doppler (ADCP) modelo StreamPro de Teledyne (figura 6).

**Figura N° 6**  
**Aforadores Acústicos por Efecto Doppler (ADCP) del AyA**

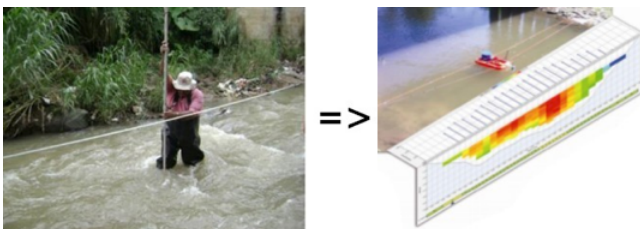


Fuente: USGS, 2012

Con la implementación de los ADCPs (cambiando ciertas mediciones con molinetes de copas por el uso de hidroacústica, figura No. 7), se buscó realizar acciones relacionadas con los siguientes aspectos:

1. Mejora en la calidad de las mediciones.
2. Aumento en la seguridad en las mediciones para los operarios.
3. Ampliación del rango de las mediciones, velocidades y profundidades.

**Figura N° 7**  
**Aforos con molinetes vs aforos con ADCP**

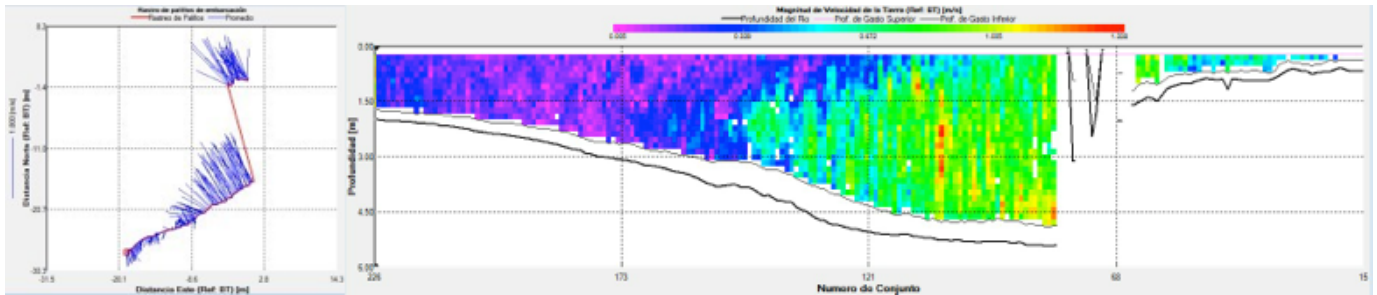


Este cambio implicaba un aumento considerable en la cantidad de información a procesar y las capacidades que debe tener el personal para el manejo del equipo, puesto que consiste en saltar de un simple conteo de vueltas en un tiempo determinado (molinetes) al uso de instrumentos electrónicos con principios físicos más complejos (efecto Doppler). Dada la complejidad del equipo, cuenta con una curva de aprendizaje más lenta y requiere de capacitación para un adecuado uso y una minimización del error en los valores de los caudales aforados.

### Problemas

Al iniciar la implementación del ADCP, se tuvo el problema de que a nivel local y regional no se contaba con muchos equipos similares, el costo asociado a esto, es que existe muy poco (o ningún) conocimiento en el país acerca del funcionamiento de este equipo. Además, el proveedor nacional, en su momento, no sabía nada sobre el equipo. Lo anterior repercutió en que las primeras mediciones no contaron con la calidad deseada e inclusive se llegó a dudar de la aplicabilidad del instrumento para las mediciones hidrológicas en el AyA. Como se muestra en la figura 8, el mayor problema era que se realizaban mediciones con el ADCP pero se perdía gran cantidad de información y las mediciones presentaban grandes diferencias entre un transecto y otro para el mismo cauce.

**Figura N° 8**  
**Ejemplos de las mediciones iniciales**



### Generación de capacidades ADCP

Ante este panorama, en la UEN Gestión Ambiental se iniciaron las gestiones para capacitar a funcionarios de la institución en la operación y funcionamiento del ADCP. En principio se buscó una capacitación a través de proveedores de la Institución, sin embargo la única oferta presentada, se consideró muy onerosa y no cumplió los requisitos solicitados, respecto a lo ofrecido. Por tanto, se inició gestiones a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), dado que en el mundo es la institución que cuenta con la mayor capacitación en el uso de ADCPs, aunado a que trabaja de forma integrada con los fabricantes de estos equipos, hacia su constante mejora y optimización. Adicionalmente, el costo de pasajes, curso, hospedaje y viáticos de dos funcionarios capacitándose en los Estados Unidos, era la mitad de lo ofertado por el proveedor. Por tanto, a través de Michael Rehmel del USGS, se gestionó la participación de dos funcionarios de la Institución en una capacitación en la sede de la Universidad de Sacramento, la cual es una institución asociada al USGS.

Los funcionarios del AyA asistieron a la capacitación en la operación del aforador acústico bajo el nombre “Measurement of Streamflow Using Acoustic Doppler Current Profilers” (Medición de caudales usando perfiladores acústicos Doppler), impartido por USGS, en la ciudad de Sacramento, en el estado de California, en los Estados Unidos de América.

Durante el curso se trató no solo la operación del StreamPro (equipo adquirido por AyA), sino también de RiverRay y Rio Grande (otros productos fabricados por TRDI), así como el M9 y S5 de Sontek (otro fabricante de aforadores acústicos). Lo cual permitió un mayor entendimiento de las condiciones de aplicación de los equipos y sus diferentes limitaciones.

Adicional a las clases magistrales, estas fueron acompañadas de sesiones prácticas con ejercicios guiados y supervisados por los instructores, las cuales no solo enriquecieron el aprendizaje, sino que además disiparon dudas acerca de los conceptos expuestos.

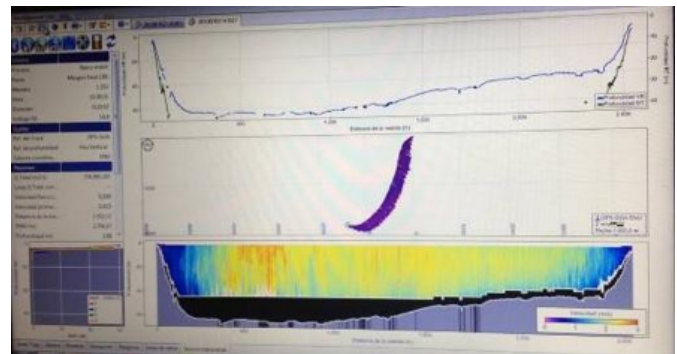
**Figura N° 9**  
**Funcionarios del AyA durante práctica supervisada de campo**



Además del curso con el USGS se tuvo la oportunidad de compartir con personal de la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (ANA) en Cartagena Colombia en el 2014, donde el funcionario de la ANA, Matheus Marinho da Faria expuso magistralmente conceptos de diseño, operación y mantenimiento de una red de estaciones hidrometeorológicas, así como el equipo utilizado para las mediciones hidrológicas, donde resalta que el 100% de las mediciones de caudales en los ríos las realizan con Aforadores Acústicos por Efecto Doppler (ADCP). El personal de la ANA, se mostró en completa disposición de colaborar con el AyA en el programa de estaciones que está realizando y compartió toda su información de contacto para establecer las relaciones necesarias y realizar proyectos de cooperación conjunta entre el AyA y la ANA.

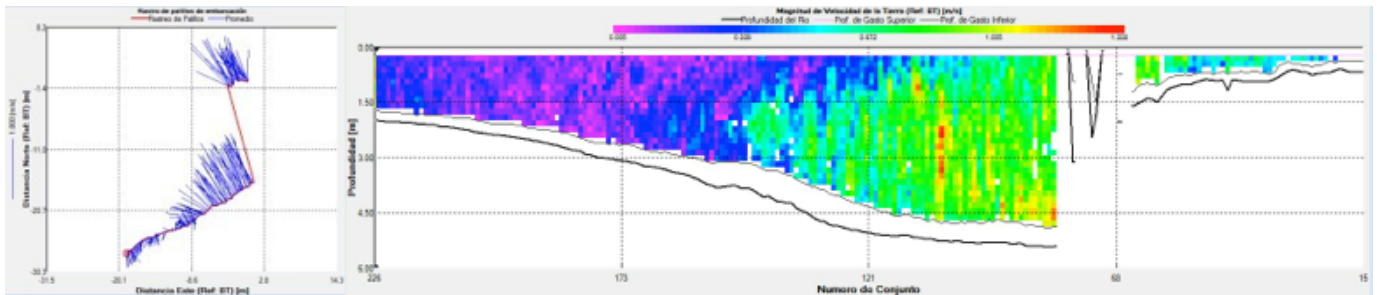
En la figura No. 10 se muestra la medición realizada por Matheus Marinho da Faria con un ADCP en el Río Amazonas, donde se puede observar que el ancho del río es de más de 2.5 km, la profundidad mayor a los 60 m y un caudal de 234 991.2 m<sup>3</sup>/s.

**Figura N° 10**  
**Medición con ADCP del Río Amazonas**



Después de la capacitación, del intercambio de experiencias y del uso del equipo en campo se ha mejorado considerablemente el uso del ADCP en el AyA, de forma tal que se han minimizado los errores en la aplicación y se cuenta con mayores capacidades para la interpretación y solución de problemas, en la Figura No. 11 se muestra una medición reciente.

**Figura N° 11**  
**Mediciones realizadas por el AyA actualmente con ADCPs**



Además en la Tabla No. 1 se muestra una comparación entre las mediciones iniciales y las mediciones actuales, donde se puede observar claramente como las diferencias de caudal entre una medición y otra se han reducido considerablemente,

ya que inicialmente las diferencias entre caudales eran casi siempre superiores al 5% y actualmente se logran mediciones con diferencias que no superan el 2%.

**Cuadro N° 1**  
**Comparación de mediciones Iniciales con Actuales con ADCP**

Transecto	Mediciones Iniciales		Mediciones Actuales	
	Q Total (m³/s)	Delta Q (%)	Q Total (m³/s)	Delta Q (%)
T000	30.912	-14.92	60.702	0.6
T001	40.029	10.18	59.199	-1.89
T002	34.682	-4.54	61.316	1.62
T003	39.702	9.28	60.137	-0.33
Promedio	36.331	-	60.339	-

Las experiencias en el uso del ADCP con el que se cuenta actualmente en el AyA, hace que probablemente sea la institución que mayor conocimiento tiene, a nivel regional centroamericano, en el adecuado uso y manejo de ADCPs, lo que genera que actualmente se tenga una minimización del error en los valores de los caudales aforados en comparación al uso inicial que se le daba al ADCP.

El manejo de los ADCPs y en general de la hidroacústica implica una generación de capacidades continua puesto que las aplicaciones a la hidrometría son múltiples y se considera que el AyA se encuentra actualmente en las primeras etapas del aprendizaje en este tema. Es por eso que en el AyA se ha apostado a mejorar sus capacidades en esta área y ampliar las mediciones por medio de este tipo de instrumentos.

## Instalación

A partir de las necesidades de instrumentación identificadas con los potenciales usuarios de la información o en sitios de interés de la institución, se inició la colocación de equipos. Todo equipo, se colocó tratando de seguir estándares OMM, o bien buenas prácticas recomendadas por otros operarios de este tipo de equipo. La figura No. 12 muestra las estaciones hidrológica en el Río Banano meteorológica La Paz en San Ramón de Alajuela.

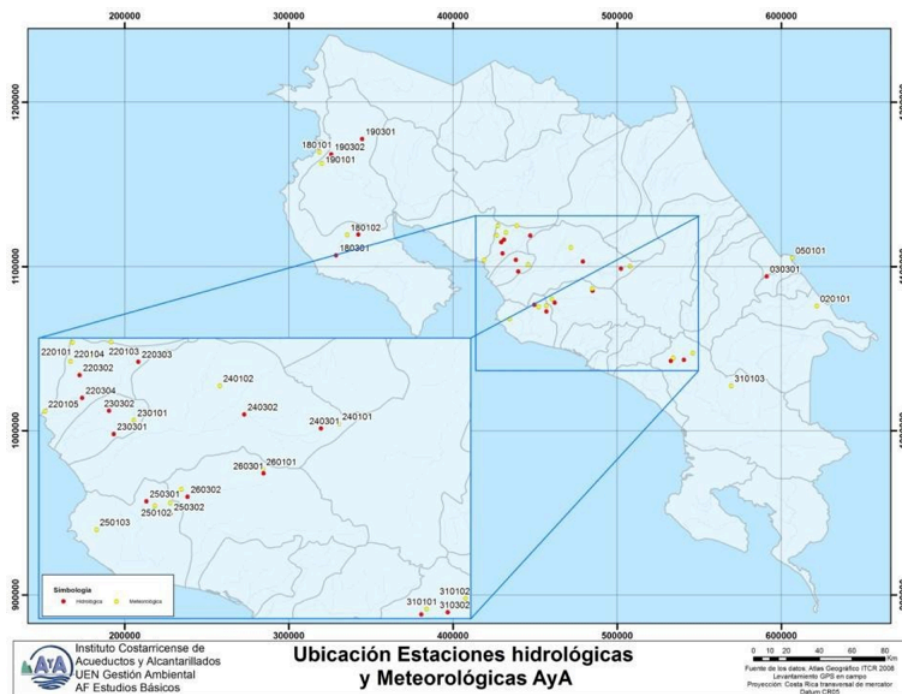
El proceso de instalación de equipo, ha encontrado su mayor limitación en las restricciones que existen para contratación de personal nuevo para el mantenimiento de los equipos y procesamiento de la información. Por esto se ha

**Figura N° 12**  
**Estaciones hidrológica Río Banano en Asunción y meteorológica La Paz**



decidido mantener la red en 40 estaciones, que es lo que se considera que se puede operar y mantener con el personal con el que se cuenta. La figura No. 13 muestra el mapa de Costa Rica, con la ubicación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas actualmente operando.

**Figura N° 13**  
**Mapa de estaciones hidrológicas y meteorológicas del Aya**



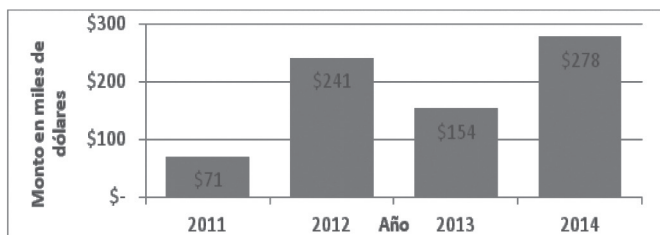
## Operación y mantenimiento

Como se indicó anteriormente, la Red de Estaciones Hidrometeorológicas del AyA, ha crecido desde cero estaciones en el 2011 a 40 en el 2015, lo cual ha generado un aumento considerable, en corto tiempo, en la cantidad de trabajo para el adecuado manejo de la red.

### Inversiones

Las inversiones sostenidas realizadas desde el 2011 han sido las responsables del crecimiento de la red de EMHA, el total de esta inversión ronda los \$740 mil dólares, según se detalla en la figura No. 14.

**Figura N° 14**  
**Montos invertidos en la red de estaciones del AyA**



Se estima de manera preliminar que anualmente se debe estar invirtiendo entre \$50-\$40 mil dólares en equipo e instalaciones para una adecuada operación y mantenimiento, que garanticen la sostenibilidad de la red en el tiempo.

### Mantenimiento

Como parte de la implementación de la red se han incrementado los trabajos de operación y mantenimiento necesarios, entre los trabajos que se han presentado están:

- Correctivo:
  - Actos de vandalismo o Golpes de ganado.
  - Fallo del equipo por descargas eléctricas.
  - Sedimentación y otras.
  
- Preventivo:
  - Desgaste del equipo o corrosión.
  - Insectos.
  - Reemplazo por ciclos de carga y descarga.

La figura No. 15 muestra algunos de los problemas más comunes que se tiene en la operación de estaciones hidrometeorológicas.

**Figura N° 15**  
**Labores de mantenimiento de la red del AyA**



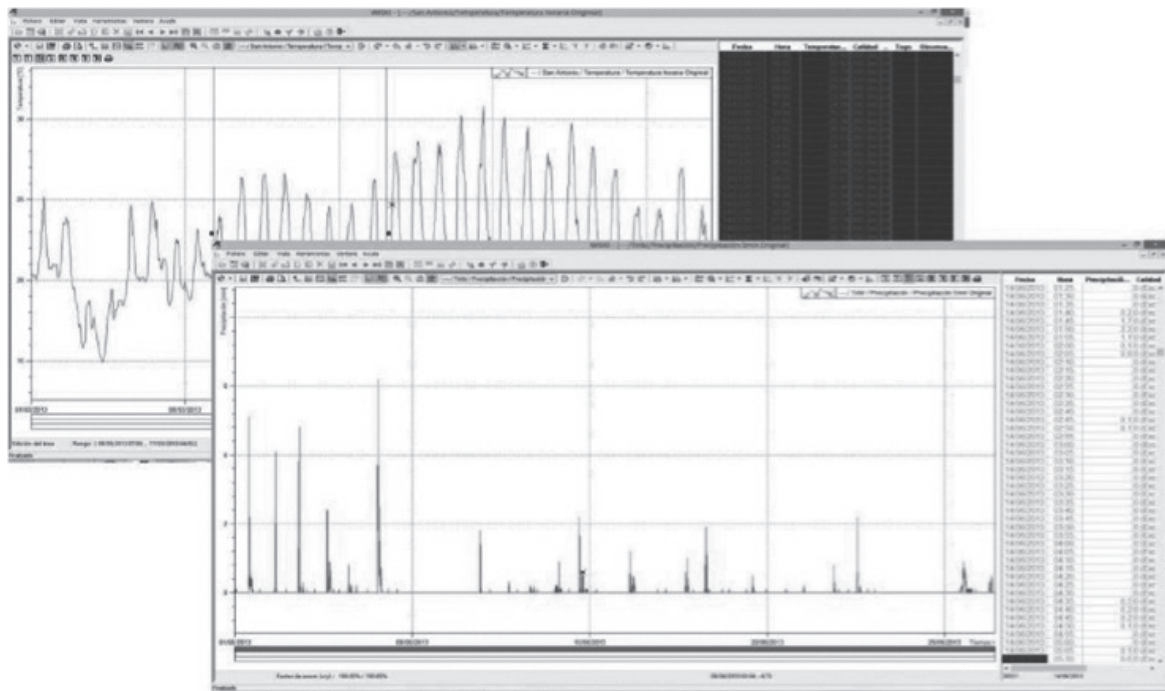
## Base de datos

A medida que creció la red de estaciones, también lo hizo la base de datos, la cual pasó de tener un dato diario de un solo parámetro (precipitación de los pluviómetros totalizadores), a tener hasta 288 valores diarios de varios parámetros (e.g. datos cinco minutales de precipitación y nivel de cauce). Surgió entonces la necesidad de adquirir un programa que permitiese un adecuado control de la calidad de los datos.

## De Excel a KISTERS

Inicialmente, se desarrollaron macros de Excel® que permitiesen realizar controles de la calidad de los datos. Rápidamente, la cantidad de datos superó las funciones de procesamiento de las macros desarrolladas y se adquirió entonces el programa WISKI, del desarrollador alemán KISTERS. Se buscó con este lograr la integración de los aforos generados con el aforador acústico, los registrados con las PCs de campo y los datos registrados por las estaciones.

**Figura N° 16**  
**Edición de datos hidrometeorológicos**



La figura No. 16 muestra el proceso de edición y revisión de datos meteorológicos generados por las estaciones, para ser almacenados como información disponibles para divulgación. Se ha considerado que este tipo de herramienta informática (ya sea desarrollo propio o adquirida) es fundamental para el adecuado manejo y procesamiento de los datos.

### **Futuro de la Red**

Al reiniciar el programa de instrumentación de cuencas del AyA, se hizo entendiendo que la información hidrometeorológica, no solo es un elemento fundamental en el diseño de obras civiles, sino que hoy día se ha convertido en unos de los

más importante criterios para la toma de decisiones gerenciales, políticas, administrativas e ingenieriles. Alrededor de este mismo principio es que se ha considerado el entender la instrumentación como una tarea fundamental del quehacer del AyA, sustentada en tres pilares, la sostenibilidad, el crecimiento de la red y la integración a la red nacional.

### **Sostenibilidad**

La sostenibilidad de la red de estaciones y casi de cualquier proyecto, se basa en entender que los equipos requieren reemplazo, mantenimiento y control. Para lo cual debe existir un grupo de personas y una reserva presupuestaria para

ejecutar estas tareas. En esto es de especial importancia que quienes asignan presupuesto, (que normalmente no son los mismos que se encuentran en tareas de instalación y operación), entiendan la importancia de la asignación de estos recursos. La sostenibilidad de la red dependerá enteramente de que la institución haga de la instrumentación una labor propia.

### **Integración a la red nacional**

Ante la posible duplicidad de información, el valor de los datos generados y el crecimiento del programa, se considera que el siguiente paso inmediato para la sostenibilidad de éste a, debe ser la integración de la red a las redes operadas por otras instituciones. Quizá el objetivo final en esto, será la generación de una sola red nacional, operada por una institución especializada en ello, pero antes de estos, es necesario que exista un mejor intercambio de experiencias y conocimientos que impulsen la instrumentación nacional de cuencas.

### **Conclusiones**

La medición de parámetros hidrometeorológicos es una tarea que debe ser entendida como parte de la gestión del recurso hídrico, no solo para el suministro de agua potable a los clientes del AyA, sino como parte fundamental de la gestión integrada del agua. Se debe saber que el retorno de la inversión en instrumentación de cuencas no es directo ni inmediato y debe constituir un punto de partida para el diseño de proyectos nuevos, de la importancia de mantener datos de calidad y cantidad suficiente, para la toma de las mejores decisiones de ingeniería y planificación.

La instrumentación de cuencas y medición de parámetros hidrometeorológicos, debe ir acompañada de inversión y capacitación, no solo en nuevas tecnologías, sino también en funcionarios cada vez más técnicos y especializados, con capacidad de adaptación rápida a los cambios. Quizás el mejor ejemplo de esto es la hidroacústica, la cual representa un cambio total de paradigma en la forma de realizar las mediciones de caudal y requiere de actualización y capacitación constante.

Se debe entender la necesidad de invertir en instrumentar cuencas, pero también en el mantenimiento de equipo. Esto implica que la inversión en medición de parámetros hidrometeorológicos no representa un único desembolso inicial, sino que implica una serie de inversiones sostenidas en el tiempo, no solo en reemplazo de equipos, sino también en incorporación de nuevas tecnologías y capital humano para la realización de las diversas tareas que la instrumentación implica.

Como muchas de las tareas realizadas por AyA, existe un gran aporte silencioso de aquellos que están en el campo recabando información, verificando el estado de los equipos, asegurando la calidad de los datos recolectados. Es importante proveer a estos funcionarios de las mejores herramientas para la realización de su trabajo, lo cual agilizará el cumplimiento de las tareas y mejorará la calidad de la información obtenida.

## Agradecimientos

El establecimiento de la red de estaciones hidrometeorológicas del AyA ha contado con colaboradores directos e indirectos. De éstos merecen especial agradecimiento los Ingenieros Javier Narbona y José Miñano de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile, Mike Rehmel del United States Geological Survey, Luis Acuña Rodríguez del Instituto Costarricense de Electricidad y Alonso Arriola y José Ordoñez del AyA.

## Referencias Bibliográficas

1. Dirección General de Aguas. (2013). **Manual de prácticas hidrológicas**, Santiago, Chile.
2. United States Geological Survey. (2005). **Quality-Assurance Plan for Discharge Measurements Using Acoustic Doppler Current Profilers**, Scientific Investigations Report 2005-5183, Virginia, Estados Unidos de América.
3. World Meteorological Organization. (2010) WMO, No 1044, **Manual on Stream Gauging Vol I**, Ginebra, Suiza.
4. World Meteorological Organization. (2010), WMO, No 1044, **Manual on Stream Gauging Vol II**, Ginebra, Suiza.



Esteban Alberto  
González Ramírez <sup>1</sup>

## Construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de sistemas de agua potable y saneamiento de AyA en Costa Rica

### Resumen

En el documento, se presenta el proceso y los resultados del proyecto “*construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de los sistemas de agua potable y saneamiento del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)*”, realizado mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se detalla la manera en que se realizó la organización de información territorial de infraestructuras de acueductos y alcantarillados, los métodos usados en la construcción y ajuste espacial de dichos datos, pertenecientes a ciudades intermedias y rurales (periféricas) de Costa Rica, los resultados obtenidos del proyecto y su aplicación en diversos campos técnicos y operativos.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica, sistemas de acueductos y saneamientos, datos espaciales-sistemas de agua potable.

### Abstract

The process and results of the project are presented in the document “*Construction and Geographical Adjustment of Spatial Data of Potable Water and Sanitation Systems of the Costa Rican Sewage and Aqueducts Institute (AyA)*”, performed by using the Geographic Information Systems tools (GIS).

Details on the way in which the organization of territorial infrastructure information of aqueducts and sewer authority happened are given; also information on the methods used in the construction and spatial adjustment of such data is provided, as well as the results of the project and its application in various technical and operational fields in intermediate cities and rural areas (peripheral) of Costa Rica.

**Keywords:** Information Systems, water supply and sanitation systems , spatial data - water systems.

<sup>1</sup> Lic. en Ciencias Geográficas. Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo. egonzalez@aya.go.cr.

## Introducción

La información territorial resulta esencial en la toma de decisiones por parte de las organizaciones, ya que permite integrar y coordinar diversos procesos de un determinado negocio. En el caso del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), la ubicación territorial de la infraestructura civil que permite el trasiego de agua para el abastecimiento de áreas urbanas y de saneamiento y su representación gráfica mediante mapas, resulta fundamental para cumplir parte de los objetivos por los que fue creada la institución.

En las últimas décadas, en el AyA se ha implementado el uso de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), como parte de la necesidad mencionada de representar los diversos aspectos que conforman los sistemas de acueducto y saneamiento que administra la entidad y la relación con el territorio donde están emplazados, creando SIG's departamentales, los cuales manejan importantes cantidades de datos territoriales de los sistemas y de otros diversos aspectos que le atañen al Instituto.

En el presente documento, se muestran los principales aspectos desarrollados y los resultados del proyecto *“construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de los sistemas de agua potable y saneamiento del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados”*, desarrollado en específico en la Dirección de Desarrollo Físico, UEN Programación y Control de la Subgerencia de Ambiente, Investigación y Desarrollo (SAID), con un presupuesto de \$260 mil US dólares, y ejecutado mediante licitación abreviada (2013LA-00007-PRI). El proyecto realiza la transformación

y mejoramiento de la información cartográfica que existe de los sistemas AyA, mediante uso de herramientas SIG.

El proyecto desde su concepción pasa por varias etapas: un diagnóstico de la información espacial de sistemas de acueducto y alcantarillado administrados por AyA, la definición de términos de referencia, la conformación de una metodología para el ajuste y construcción de los datos en un SIG, un proceso de revisión y control de calidad, y por último, la administración, control y distribución de la información generada.

Inicialmente en este documento se presenta la ubicación en el país de los sistemas incluidos en el proyecto, seguido por los objetivos, los aspectos teórico-metodológicos que dan sustento al proyecto, seguidamente por los resultados obtenidos, conclusiones y aplicabilidad de la información generada en los diversos quehaceres institucionales e importancia para los entes externos influenciados por las actividades del Instituto.

El proyecto se justifica debido a la necesidad de mejorar la gestión de la información digital de los elementos que conforman los acueductos y alcantarillados del AyA. Los datos unificados y estandarizados, en un formato moderno de SIG, permite mejorar de manera sustancial la productividad y se convierte en la base para un sistema de Infraestructura de Datos Espaciales.

El mapeo de los elementos de red de los acueductos y alcantarillados en AyA ha evolucionado desde los mismos inicios del Instituto, pero la representación espacial y la ubicación en el territorio siempre han sido un elemento esencial, pasando de representaciones realizadas con pluma

a elementos digitales en formatos CAD (*computer-aided design*) o diseño asistido por computadora, a datos más elaborados en SIG con bases de datos asociadas, tales como las del presente proyecto, y con la perspectiva de seguir evolucionando a sistemas más poderosos en la red de Internet.

Existe una problemática asociada al uso, disponibilidad y calidad de información para la toma de decisiones. Una resolución de la ARESEP (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos), la 892-RCR-2012 del 16 de julio de 2012, indica que se hace indispensable la modernización de la plataforma de información del AyA. En específico al respecto, en la sección final de resoluciones, la número XII indica: “...En el plazo máximo de 3 años a partir de la publicación de esta resolución en el diario oficial *La Gaceta*, AyA deberá contar con un sistema integrado de información geográfica en el que se muestren los resultados de los proyectos de georeferenciación y caracterización de sus sistemas. En el mismo se debe mostrar como mínimo la infraestructura de los acueductos (tanques, fuentes de producción, líneas de distribución y conducción) así como la delimitación de cada acueducto. A más tardar, el 30 de marzo y 30 de setiembre de cada uno de los años 2013 y 2014, se deberán presentar informes detallados del avance de ese proyecto a esta Autoridad Reguladora”.

La Autoridad reguladora termina dicha resolución advirtiendo que el incumplimiento de esta condición puede ser objeto de rechazo de futuras fijaciones tarifarias. Este aspecto motivó aún más la necesidad de modernizar la plataforma de datos de los sistemas.

Para lograr el objetivo, se necesitó la transformación de miles de elementos gráficos

de las redes AyA, de un formato CAD a nuevos elementos inteligentes en versión para Sistemas de Información Geográficos, agrupados en bases de datos, llamados “shapefiles”.

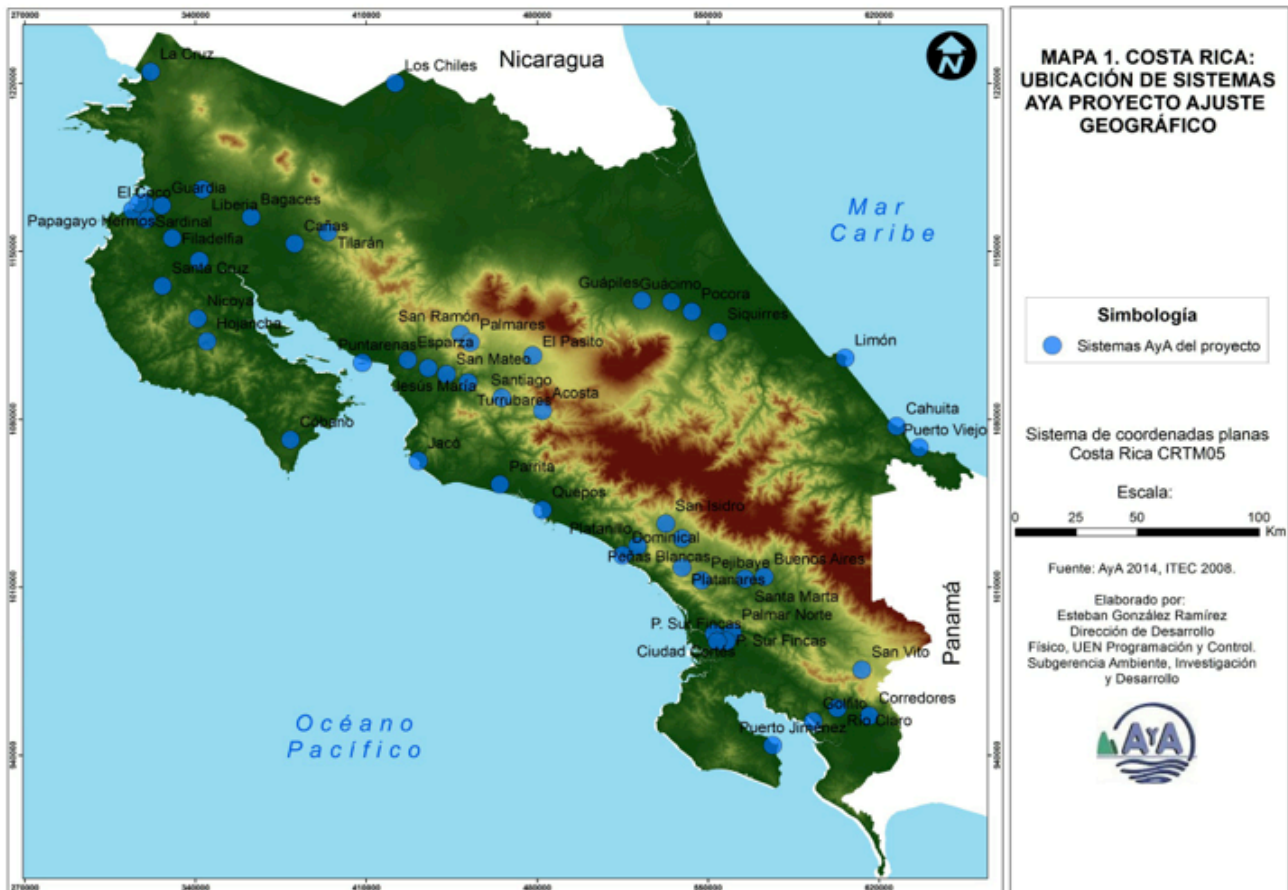
## Área de estudio

El área de estudio incluye sistemas de acueducto y saneamiento administrados por AyA de todas las provincias de Costa Rica (ver mapa 1). La elección de dichos sistemas corresponde a la existencia de información cartográfica digital, es decir, no se incluyen en el proyecto sistemas en donde la información cartográfica disponible es de carácter análogo (en papel) o inexistente.

## Objetivos

1. Editar y ajustar a la cartografía del Programa de Regularización y Catastro de Costa Rica (PRCR), la información geoespacial digital existente de los sistemas de agua potable y saneamiento que posee el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
2. Hacer la conversión de los archivos en versión CAD (dwg, dxf u otro formato) a SHP (shapefile) para su uso en SIG (Sistema de Información Geográfico) de los elementos pertinentes a los sistemas que administra el AyA.
3. Realizar la homogenización de todos los archivos y productos en el sistema de coordenadas y proyección oficial para Costa

**Mapa N° 1**  
**Datos sobre sistemas periféricos de las regiones Brunca, Chorotega, Central Oeste, Pacífico Central, Huetar Atlántica**



**Fuente:** Subgerencia de Sistemas Periféricos y SAID, 2014.

Rica CRTM05 y en un sistema universal de coordenadas (coordenadas geográficas WGS 1984). Elaborar la edición respectiva de los archivos SHP generados de los sistemas AyA y construir una geo-data-base respectiva para cada elemento de los acueductos y alcantarillados.

4. Editar los archivos SHP de los sistemas para que coincidan con la cartografía del PRCR, según lo indican los documentos y planos oficiales del AyA (versiones CAD y otros), o si no existiese, se utiliza la información cartográfica más actual disponible.

## Marco teórico – conceptual

La información se ha convertido para la sociedad actual en un bien de alta relevancia, como se observa en diversas corporaciones y entes gubernamentales, que invierten grandes sumas económicas, esfuerzo y dedicación en la gestión de sistemas informáticos.

Para el manejo y análisis de datos ubicados en un territorio, se han desarrollado los llamados Sistemas de Información Geográfica, que desde la óptica de la geografía se conciben como parte de un nuevo campo de conocimiento, denominado nueva *geografía aplicada*. Así, como una nueva disciplina geográfica, los SIG no pueden considerarse solamente un programa cartográfico, sino que se presentan como herramientas teóricas que permiten pensar y actuar espacialmente (Buzai, 2011).

Como lo explica Moreno (2008), aunque mediante las tecnologías SIG se pueden hacer mapas, y

dicha tecnología tiene ciertas funciones de dibujo, lo específico y más relevante reside en rasgos como la capacidad de almacenar grandes masas de información geo-referenciada o su potencia para el análisis de la misma, que hacen que sea especialmente relevante en abordar problemas de planificación y gestión, en la toma de decisiones.

Según Buzai (2011), la revolución en la forma de pensar que han causado los Sistemas de Información Geográfica, en donde el espacio geográfico es central, se ha basado en cinco aspectos fundamentales de naturaleza espacial: localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial. En este proyecto, varios de estos fundamentos sustentan la base teórica, ya que se usan criterios como localización absoluta y distribución en el territorio para la definición de los productos finales.

Un SIG puede conceptualizarse como un modelo, entendiendo modelo como una representación de la realidad, el cual se genera mediante la selección y simplificación de sus partes. El modelo debe tener un sistema de referenciación para que se catalogue como geográfico (Rodríguez, 2008). Para la estandarización del sistema de referencia de los modelos de los acueductos y alcantarillados, se utiliza el sistema de coordenadas local oficial, CRTM05, y además, se realiza una versión paralela en un sistema global, el WGS1984.

El modelo geográfico de la realidad en un SIG se caracteriza por separar los procesos y objetos existentes en el territorio, descomponiéndolos en partes. Estas partes son el resultado de una disección lógica y consistente de la realidad, que al segregarla se obtienen solamente algunos hechos o aspectos. En conjunto, significa concebir un

modelo de la realidad y diseñar una base de datos para contenerlo (Moreno, 2008).

Los sistemas de redes, como los acueductos y alcantarillados, se conforman en un SIG como un modelo de datos que representa una serie de estructuras civiles desagregadas y los diversos accesorios que le componen, emplazados en una posición geográfica específica mediante coordenadas, y dotados de una base de datos o *atributos* que permite tener grandes cantidades de información relacionada. El concepto de red en este caso se utiliza para poder comprender más adecuadamente y resolver algunos problemas que desde la óptica regional es imposible de resolver. Mediante las redes la apuesta no es la ocupación de áreas, sino la preocupación de activar puntos y líneas, o crear nuevos (Durant, Lévy y Retaillé, 1992).

Para la representación de los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento, se utiliza un modelo vectorial, ya que las tuberías y demás accesorios de los acueductos y los alcantarillados se pueden representar mediante líneas, puntos y áreas. Las redes de agua potable y saneamiento, categorizadas dentro de la teoría geográfica de redes como de Primer Nivel, o red real (Somarribas, 2008)

El modelo vectorial se define por usar las figuras de la geometría convencional, puntos, líneas, curvas, polígonos, círculos, elipses o volúmenes para representar las entidades del mundo real (Jones, 1997). El modelo vectorial, como lo indica Rodríguez (2008), resulta particularmente útil para representar entidades geográficas discretas, como el caso de acueductos y alcantarillados.

La información de los sistemas de AyA se almacena en tablas de datos asociadas a los vectores, lo que permite hablar de entidades geográficas y no de meros objetos gráficos, mostrando valores cualitativos y cuantitativos, con la posibilidad de establecer jerarquías y operaciones matemáticas. Los procesos realizados con las tablas de una base de datos están limitados solo por la cantidad de información disponible (Cervera y Rodríguez, 2008).

La información de recursos hídricos y aspectos relacionados con éstos son voluminosos y diversos. Una manera de mejorar la gestión de este tipo de datos ha sido mediante la extensión de Sistemas de Información Geográfica. Como lo indica Solano, Timothy y Morera (1995), la información descriptiva que existe sobre aguas superficiales y subterráneas permite realizar una serie de operaciones que conducen al análisis espacial, el cual debe apoyar acciones como la representación, distribución y medida de datos, la generación de nuevos datos y el análisis espacial de la información.

Los datos de mala calidad afectan negativamente a la toma de decisiones en las situaciones cotidianas que requieren información precisa con la cual cubrir diversas necesidades de una organización. Las empresas de servicios necesitan mantener sus activos en posiciones precisas, ya que una información incorrecta puede afectar la finalización de proyectos de construcción o reparación y al envío de notificaciones de corte del suministro a los clientes (ESRI: 2015). Es por ello que la búsqueda de mejorar los datos de los sistemas AyA resulta esencial para seguir mejorando el servicio en cuanto a continuidad, cantidad y calidad de agua potable y servicio de saneamiento.

Se utilizan una serie de conceptos de bases de datos, como lo es el término dato, concebido como lo indica Elmasri y Navathe (2007) como los aspectos cuantitativos y cualitativos de una realidad

En este estudio se realizó tareas de entrada manual de datos e importación de archivos de datos digitales; también se administró y organizó los archivos de geo datos de los sistemas AyA. Además, se incluyó trabajo de edición, corrección, integración y geo procesamiento de los datos, esto abarcó la construcción y modificación de la geometría, las coordenadas, las tablas de datos temáticos, la generación de nuevas unidades espaciales, la normalización de datos dispares, la búsqueda y selección de datos, la obtención de datos derivados (ejecución de cálculos).

## Metodología

Al tratarse de la inclusión de grandes volúmenes de datos observables y que se pueden medir, específicamente obras civiles que conforman los sistemas de acueducto y saneamiento, la investigación se categoriza como cuantitativa, ya que es objetiva y orientada a resultados (Barrantes, 2002). Esta definición es importante porque nos indica el abordaje analítico del proyecto, sus estrategias conceptuales, estilo y forma de desarrollo de la investigación.

Se usa software SIG para el tratamiento y gestión de los datos de los sistemas AyA, tablas u hojas de cálculo y procesador de texto para la generación de los productos finales, lo cual lo enmarca dentro de este enfoque científico. Este proyecto ha requerido la utilización de herramienta SIG capaz de leer y

generar ficheros de información geográfica en diversos formatos (SHP, DXF, TIF, KMZ, etc). Se ha utilizado ArcGIS de ESRI como software básico para la lectura de ficheros, la conversión de formatos y la realización de las tareas de edición y de creación de los productos finales, apoyado por aplicaciones como DWGTrueView y OpenOffice.

Para generar los productos estipulados en los objetivos, en este proyecto se utiliza como base la información cartográfica digital existente en AyA, la cual se encuentra en formato de software informático para dibujo digital CAD (*Computer aided Design* por sus siglas en inglés, diseño asistido por ordenador en español), el cual ha sido el software de dibujo utilizado regularmente para crear mapas y planos de sistemas en el Instituto. Con esta información se plantean tres productos específicos: 1. File Geo-data-bases (base de datos tipo gdb de ArcGIS para almacenamiento de información) con los elementos de los sistemas AyA desagregados para su uso en SIG, 2. Cartografía CAD a partir de los datos SIG generados en el producto 1, 3. Archivos en formato KML para su uso en Google Earth a partir del producto 1.

El primer producto consiste en una serie de *Files Geo-data-bases* que contienen los archivos *Feature Class (shapefiles)* correspondientes a los sistemas AyA, generados a partir de los datos CAD mencionados, pero que han sido ajustados a la cartografía más actual disponible, la del Programa de Regularización y Catastro (PRCR), y añadiendo una base de atributos por elemento. Además, se le asigna un sistema de coordenadas adecuado (CRTM05 y GCS\_WGS\_1984), parámetros topológicos que controlen los posibles errores de la red, y la creación de metadatos para cada archivo. Los archivos *shapefile* (formato sencillo que se

utiliza para almacenar la ubicación geométrica y de atributos de las entidades geográficas) se clasificaron según elemento de red de acueducto y alcantarillado, utilizando el módulo de ArcGIS

llamado ArcCatalog. Los archivos shapefile son desplegados y editables en ArcMap de ArcGIS de ESRI (formato dBASE dbf.), a partir de la información original, como se especifica en el siguiente cuadro 1:

**Cuadro N° 1**  
**Clasificación de las Entidades Geográficas de los Sistemas AyA por archivo de forma**

<b>Sistemas de Acueducto</b>	
<b>Entidad Geográfica</b>	<b>Tipo de representación de la entidad geográfica</b>
1. Infraestructura de captación	Punto
2. Tanques	Punto y área
3. Unidades filtrantes	Punto
4. Casetas	Punto
5. Plantas potabilizadoras	Punto y área
6. Estaciones de bombeo	Punto
7. Tuberías	Línea
8. Válvulas	Punto
9. Reducciones	Punto
10. Pasos (elevados u otros) de tuberías.	Línea
11. Tapón	Punto
12. Tee	Punto
13. Unión de tuberías (sobreposición)	Punto
<b>Sistemas de saneamiento (alcantarillado)</b>	
<b>Entidad Geográfica</b>	<b>Tipo de representación de la entidad geográfica</b>
1. Colectores y subcolectores	Línea
2. Plantas de tratamiento	Punto
3. Lagunas de estabilización	Punto y área
4. Estaciones de bombeo	Punto
5. Pasos elevados de colectores y subcolectores	Línea
6. Cajas de registro	Punto

**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, UEN Programación y Control, SAID, 2014

El segundo producto consiste en la creación de una serie de archivos en formato para su uso en software CAD, utilizando como base la versión de GIS del producto 1, para su utilización en actividades de construcción del Instituto.

Por último, un tercer producto es una versión en KML para Google Earth, con la finalidad de mejorar la divulgación de datos de los sistemas a todos los sectores del AyA que no tienen manejo alto en sistemas de información geográficos.

## Fase inicial

Para este proyecto inicialmente se realiza un diagnóstico de la información espacial existente, para lo cual se ejecuta un inventario según sistema AyA y se categoriza según su estado, ya sea en digital o en papel, de 170 acueductos y/o alcantarillados administrados por el Instituto.

Los productos de dicho diagnóstico se resumen en el siguiente cuadro 2. A partir de dicho resultado, se inicia el proceso de constitución de un arquetipo de dato que permita homogeneizar la información en un formato adecuado, que permita gestionar los datos, mejorar el proceso de actualización, y tener una mejor herramienta para la toma de decisiones sobre acueductos y alcantarillados.

**Cuadro N° 2**  
**Clasificación de las Entidades Geográficas de los Sistemas AyA por archivo de forma**

Alcantarillado sanitario	1	Levantado
Planta tratamiento de Aguas residuales	12	No existe información
Emisario submarino	1	No existe información
Subtotal	25	
<b>Agua Potable</b>		
Planta de tratamiento agua potable	1	No existe información
Acueductos	87	No existe información
	43	Digitalizados
	5	Digital incompleto
	8	Borrador(papel)
<b>Subtotal</b>	<b>144</b>	
<b>Gam</b>	<b>1</b>	<b>No corresponde a este estudio</b>
<b>Total</b>	<b>170</b>	

**Fuente:** Dirección de Desarrollo Físico, agosto 2012

En el proceso de diagnóstico se realizan diversas tareas, como lo es la entrevista a actores clave, recolección de información en tablas, división en categorías de la información y presentación en gráficos y tablas.

## Fase de construcción

Con el diagnóstico elaborado, se procede a incluir los sistemas digitales existentes a un proceso que permita tener información más adecuada y con estándares que permitan su interacción en diversos estratos de trabajo e investigación.

La totalidad de la información digital que existe de los sistemas AyA se encuentra en formato de dibujo informático CAD, y elaborado con base en información cartográfica del IGN 1:50000. El proceso de actualización de esta información se ha realizado en los últimos años de forma empírica, ya que no se contaba con la información base adecuada ni con instrumentos de precisión, por lo tanto, el nivel de acierto no es el más adecuado. Los datos se encuentran en muchos casos sin un sistema de coordenadas, con simbología heterogénea, repetición de accesorios, falta de elementos y sin reglas que permitan tener una red adecuada, para las diversas tareas donde se requiere este tipo de información.

La existencia de información cartográfica actualizada, dentro del marco del Programa Nacional de Regularización y Catastro (PRCR), permite tener una base de mapas de mejor calidad. Es por ello que se decide ajustar, y en casos construir nuevamente, toda la información de los sistemas de AyA a esta nueva base cartográfica,

corrigiendo lo posible los errores originados por el uso de información base desactualizada.

Para poder obtener dichos productos, se establece una serie de procedimientos de trabajo que incluyen la edición y automatización de diversas tareas en ArcGIS, implementando entre otras las siguientes herramientas y procedimientos:

- Procedimiento de extracción de los elementos de red de acueducto y alcantarillado desde los ficheros CAD originales a formato SHP para proceder a su edición desde ArcGIS.
- Herramientas para la edición gráfica asistida de elementos hasta conformar una red con la topología considerada en el proyecto (unión de tramos de tuberías, colocación de reducciones, tees, válvulas, tapones, tanques, saltos, etc).
- Procedimiento para la incorporación de elementos en la geo-data-base con sus características alfanuméricas para la conformación del Producto1.
- Procedimientos para la ejecución del control de calidad.
- Procedimientos para el cálculo de la orientación y tamaño de los elementos puntuales para la generación de la simbología de accesorios a incorporar en el Producto2.
- Procedimientos para la exportación a CAD, SHP en las proyecciones CTRM05 y WGS84 y a KML para la conformación de los Productos 1, 2 y 3.

## Fase de gestión y administración de los productos

Terminada la creación de los productos en ArcGIS, se procede a almacenar la información en un dispositivo en red, que permite a usuarios expertos tener acceso para su uso en diversas actividades operativas y de planificación.

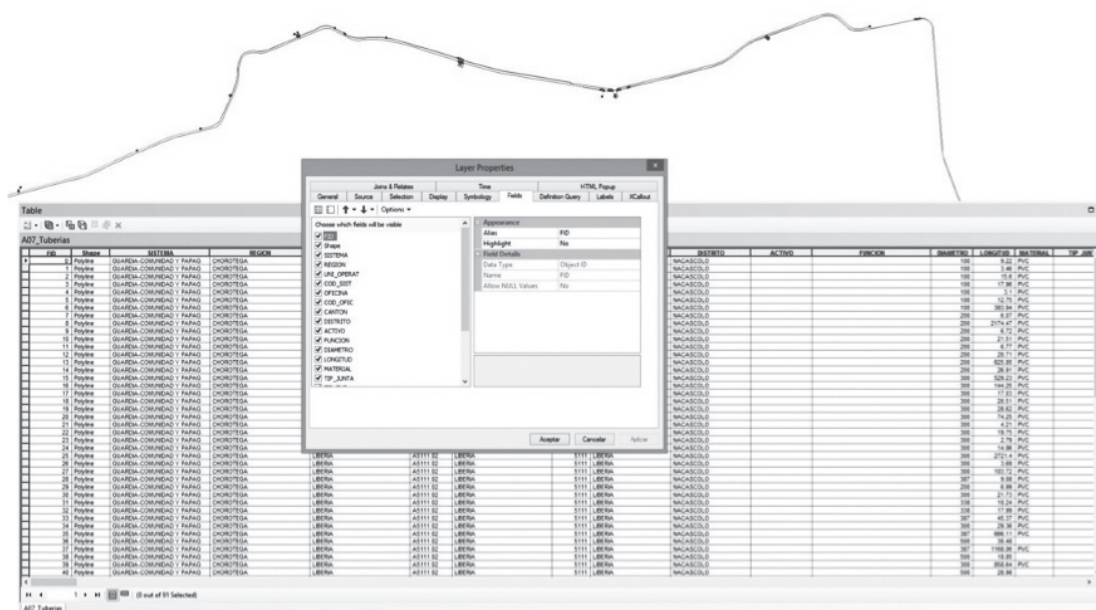
El proceso de actualización se lleva a cabo integrando a las regiones en un proceso de capacitación y de acceso a los datos elaborados, teniendo una unidad de coordinación centralizada.

## Resultados

### Organización de los datos

Para cada uno de los elementos de acueducto y saneamiento se ha constituido una geo-data-base en ArcGIS, organizándola según secciones y con tablas específicas y campos de atributos definidos. Los datos organizados permiten realizar un variado tipo de consultas, cálculos, y la misma es compatible con sistemas SIG de tercera generación para plataformas web. La modernización de la información cartográfica hace que el AyA logre cumplir con una serie de requisitos solicitados a los prestadores de servicios públicos en Costa Rica. En la imagen 2 se observa un ejemplo del modelo visualizado en ArcGIS.

**Figura N° 1**  
**Visualización de modelo de datos en plataforma de ArcGIS**



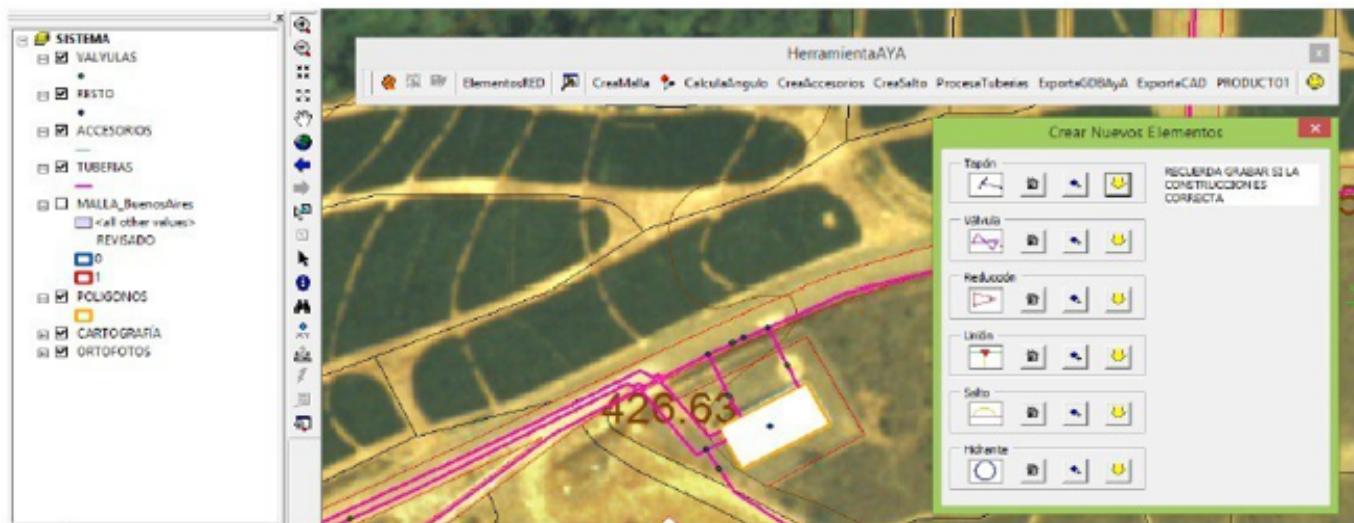
Fuente: AyA, Dirección Desarrollo Físico, 2014.

## Desarrollo de una herramienta de edición de datos para redes de acueducto y saneamiento

Dentro del proyecto, para facilitar se crea una herramienta que permitió editar y visualizar los

diversos datos y capas, incluyendo una simbología específica para redes, logrando una mayor productividad en la edición de la información, automatizando la generación de los nuevos datos. En la imagen 2 se presenta la visualización de la herramienta mencionada.

**Figura N° 2**  
**Visualización de herramienta creada para edición de redes AyA en ArcGIS**



**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

Con la herramienta es posible visualizar la información de cartografía base y las capas a editar con una simbología adecuada que facilita el trabajo. En el proceso de edición, ajuste y control de calidad se tienen cargadas en una misma vista las capas con los datos originales de la red y la cartografía e imágenes del Programa de Regularización y Catastro (PRCR).

## Proceso de construcción y edición de los datos

Con el desarrollo de la herramienta y la interpretación de la información base, se realiza el ajuste y edición de 54 sistemas del AyA, para ello se incluyen las siguientes operaciones para la obtención del producto:

### Conversión CAD a SHP

Se realiza la extracción de los elementos de red de acueducto y saneamiento desde los ficheros CAD originales y se transforman a formato SHP para proceder a su edición.

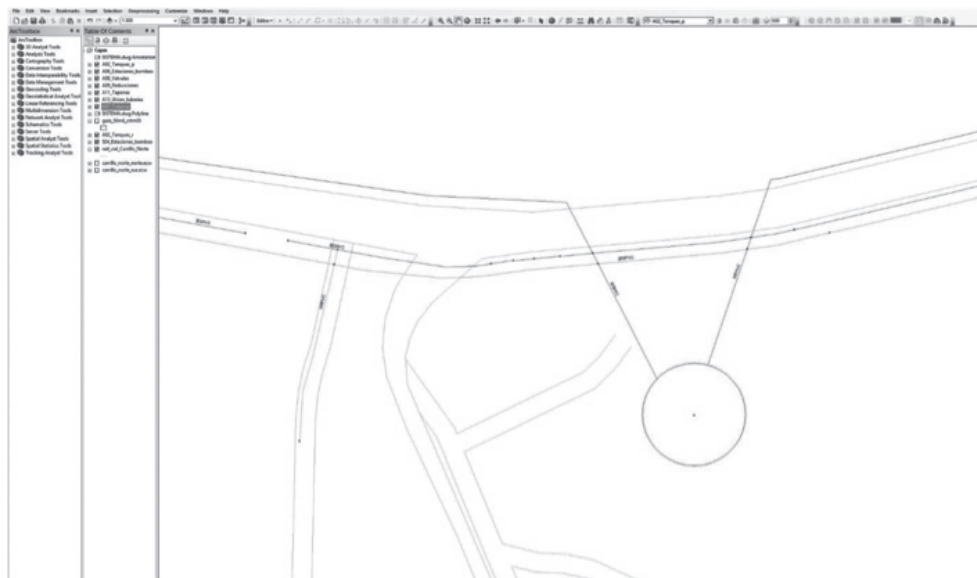
Varios de los ficheros DWG de la red original se encontraban desplazados respecto a las coordenadas reales de la zona o escalados erróneamente. En estos casos se realiza un desplazamiento y un cambio de escala en bloque de todo el contenido del DWG para situarlo lo más posible en la zona de trabajo. Después de esto se realiza la conversión a formato *shapefile* con la herramienta de *ArcGIS Extract Data*.

### Edición de los datos de acueducto y saneamiento

Se realiza con las herramientas de ArcGIS la respectiva edición de las capas *shapefile* generadas, con la cual se conforman archivos vectoriales correspondientes a los acueductos y alcantarillados. Se incluyen reglas topológicas contenidas en el software usado para verificar la calidad de los datos.

En la imagen 3 se observa un ejemplo de red de un sistema AyA.

**Figura N° 3**  
**Visualización de un sistema de acueducto en red producto del proyecto**



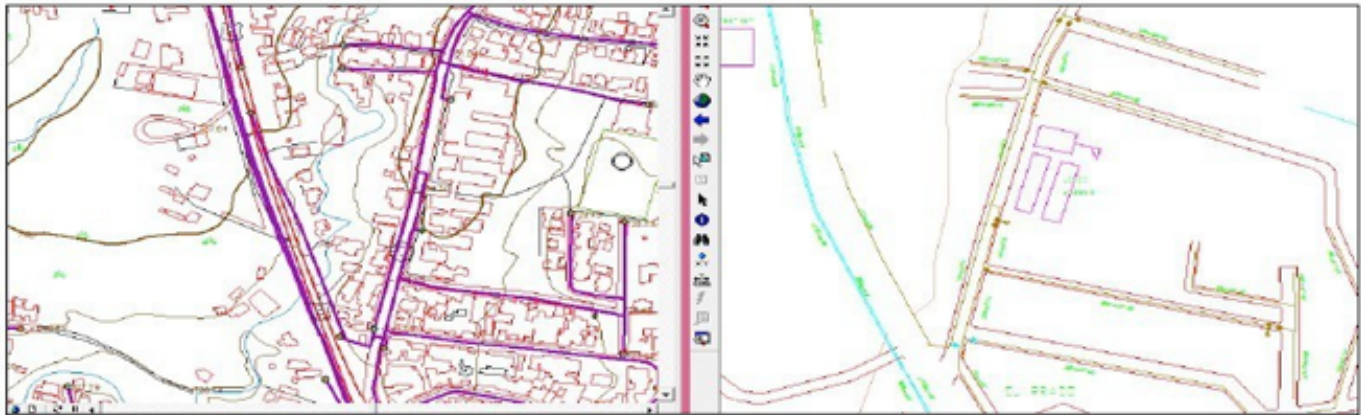
**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

**Ajuste a la cartografía más actual disponible: cartas del Programa de Regularización y Catastro (PRCR) de Costa Rica**

Para este proceso se usan las funciones de edición que contiene ArcGIS, asegurando de esta manera la continuidad de los elementos obtenida en el proceso anterior.

Este proceso de ajuste supone un alto costo de trabajo debido a la interpretación que se debe realizar, respecto a las diferencias que existen entre la representación esquemática utilizada en los CAD originales y la realidad territorial representada en la cartografía y la ortofoto (ver comparación en la siguiente imagen 4). Se usaron criterios de correspondencia lógica entre lo representado y la realidad detallada en la cartografía del PRCR.

**Figura N° 4**  
**Comparación de la realidad territorial a la derecha de la cartografía del PRCR y a la izquierda CAD original esquemático**



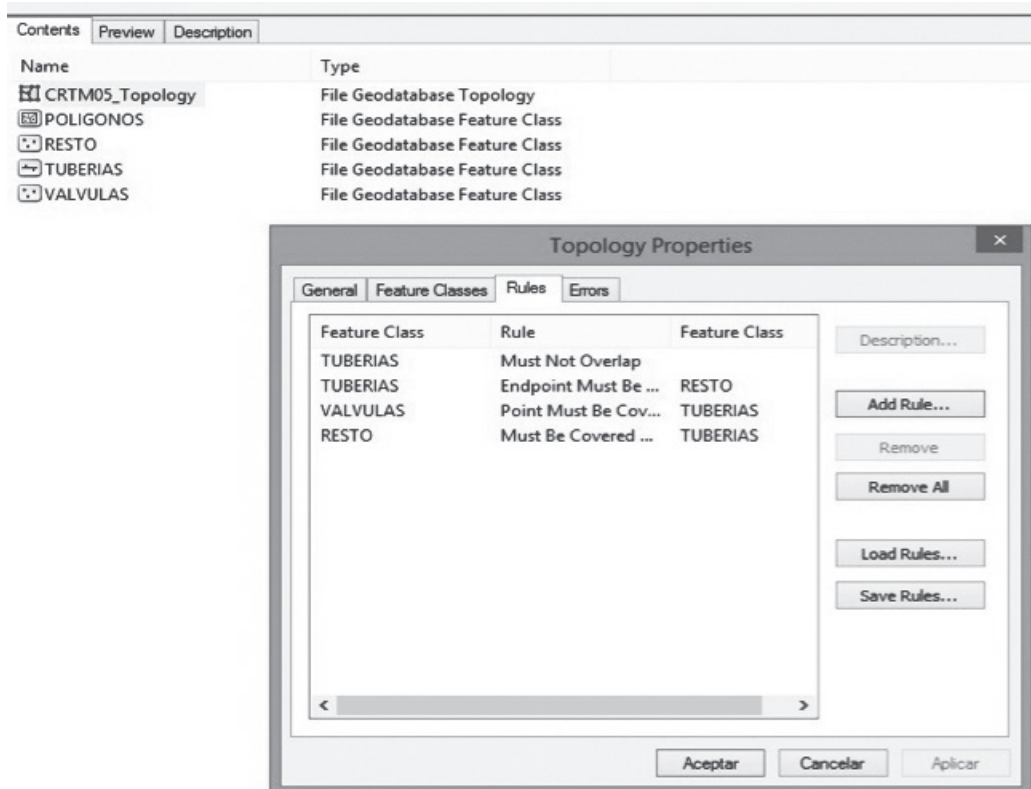
**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

### Creación de la geo-data-base

Realizado el proceso de ajuste, se realiza la incorporación de las capas shapefile a una *File Geodatabase* formato mdb. a ésta se le incorporan

una serie de reglas topológicas con la finalidad de evitar los probables errores, como duplicaciones, sobre posiciones, fallas de edición, entre otros, lo que mejora sustancialmente la calidad de la información de salida.

**Figura N° 5**  
**Visualización de la geodatabase en ArcCatalog y topología respectiva**



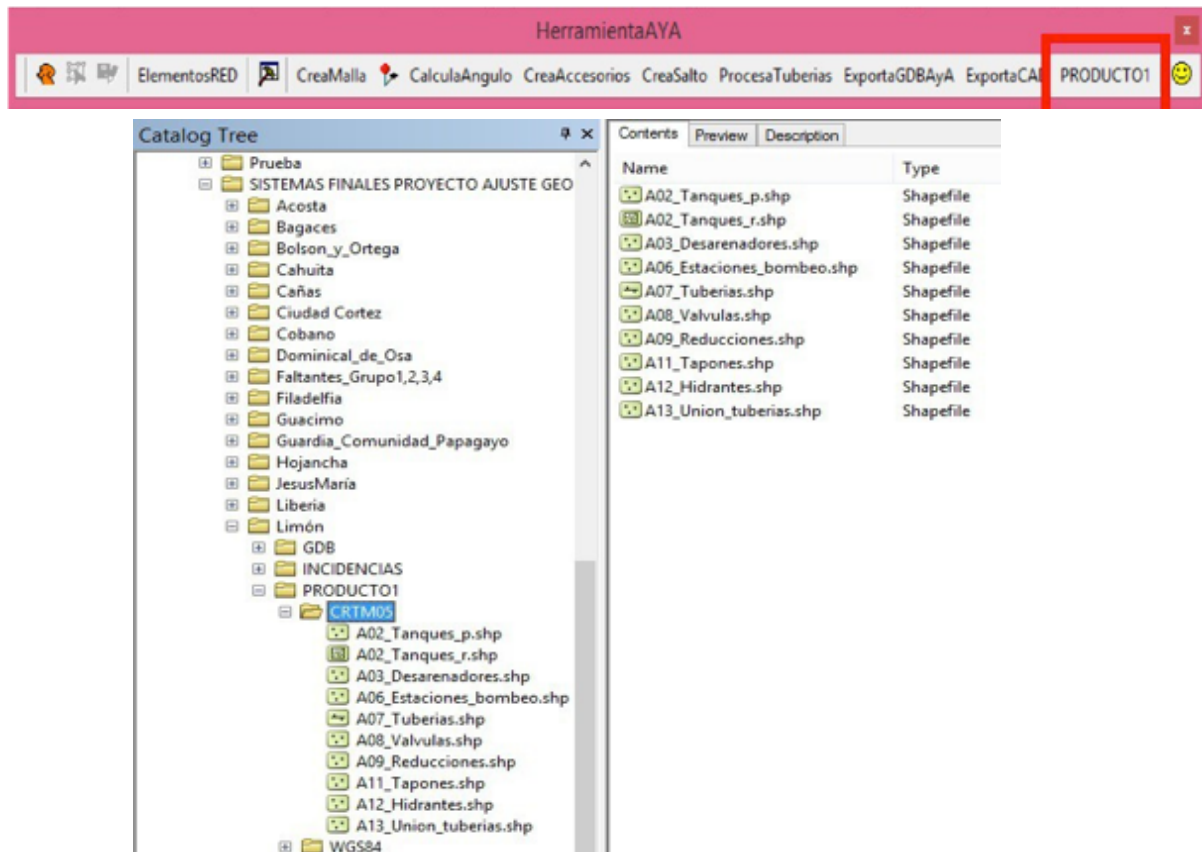
**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

## Productos finales

A partir de la geo-data-base, se realiza la exportación de todos los elementos de la red a los ficheros *shapefile* (archivos cartográficos), actividad que se realiza mediante la herramienta desarrollada específicamente para esta actividad, y se presenta en versiones de sistemas de coordenadas CRTM05 y WGS84. Un ejemplo se muestra en la siguiente imagen 6.

En el proceso y mediante la función creada, automáticamente se completan los campos de atributos alfanuméricos de las tablas asociadas a los archivos cartográficos (*shapes*), tanto las de nomenclatura como nombre del sistema, cantón, distrito, entre otros, como los relacionados con la posición geográfica (latitud y longitud) y las características geométricas, como longitud de tuberías o rotación de válvulas (ver imagen 7).

**Figura N° 6**  
**Visualización de la geodatabase en ArcCatalog y topología respectiva**

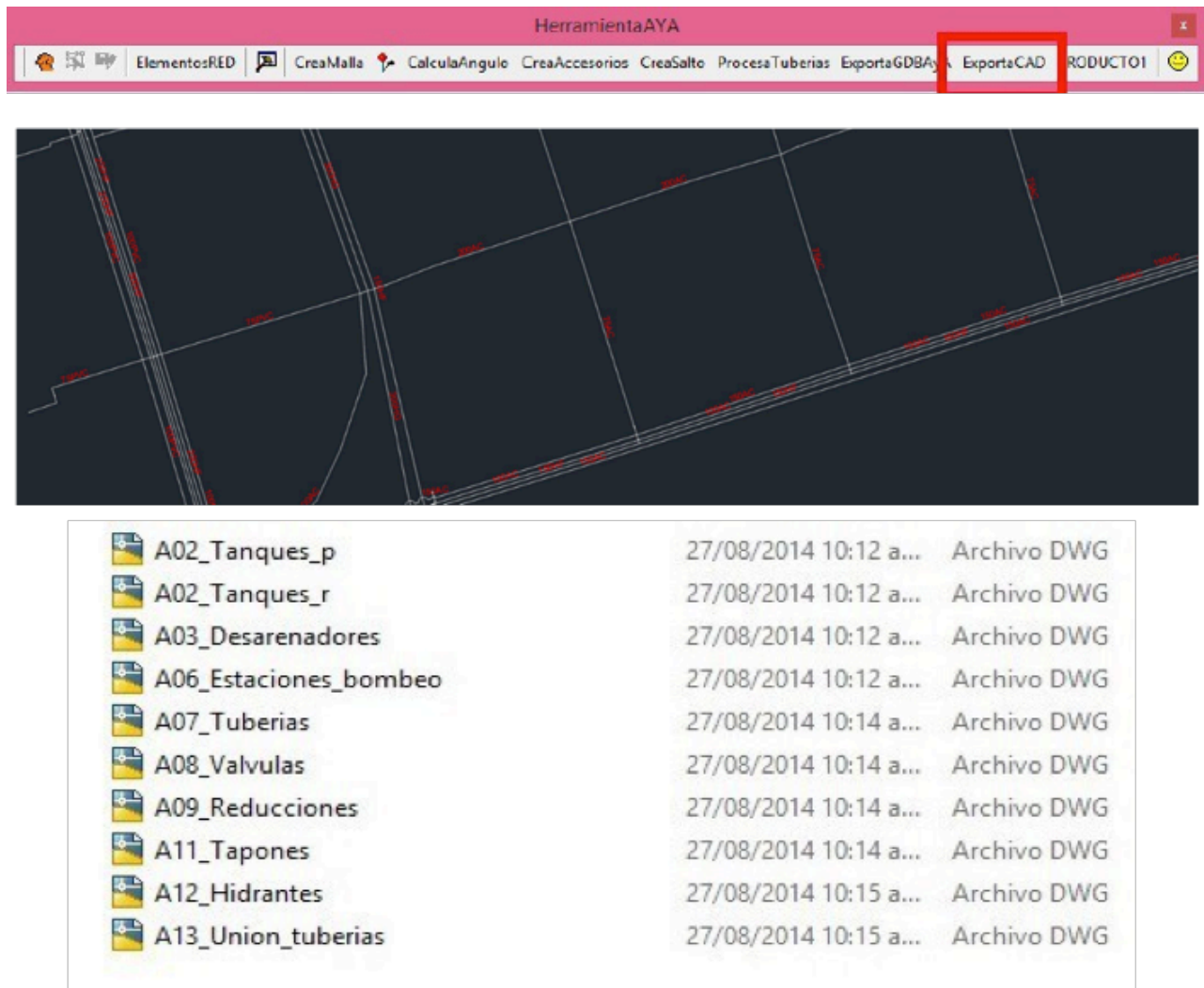


**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

El segundo producto procede del primero. Es una serie de mosaicos en versión DWG, de los elementos de los sistemas sobre la cartografía catastral del Programa de Regularización y Catastro (PRCR). Todos los elementos de los acueductos

y alcantarillados se replican en base a los datos de la geodatabase creada en una nueva versión DWG formando nuevos ficheros CAD. Para este proceso se ha desarrollado una herramienta que automatiza el procedimiento, facilitando el trabajo de transformación (ver imagen 7).

**Figura N° 7**  
**Visualización de la geodatabase en ArcCatalog y topología respectiva**



**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

Un último producto corresponde a una serie de archivos de los sistemas en una versión KML para su utilización en Google Earth. Este producto se ha concebido con la finalidad de llegar a una serie de

usuarios que no tienen acceso a software licenciado o no poseen el manejo de GIS de licenciamiento libre. Un ejemplo de esto se observa en la siguiente imagen 8.

**Figura N° 8**  
**Figura con detalle de los KML de los sistemas AyA**

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo
A01_Infraestructuras_captacion	24/07/2014 12:13 ...	Archivo KML
A02_Tanques_p	24/07/2014 12:14 ...	Archivo KML
A02_Tanques_r	24/07/2014 12:14 ...	Archivo KML
A06_Estaciones_bombeo	24/07/2014 12:14 ...	Archivo KML
A07_Tuberias	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML
A08_Valvulas	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML
A09_Reducciones	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML
A11_Tapones	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML
A12_Hidrantes	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML
A13_Union_tuberias	24/07/2014 12:15 ...	Archivo KML



**Fuente:** AyA, Dirección Desarrollo Físico, AERODIVA-TERRA XXI, 2014.

## Discusión de resultados final

El proyecto realizado permite tener a disposición una versión más adecuada de los datos de obras civiles de los sistemas de acueducto y saneamiento de las principales ciudades de Costa Rica, permitiendo manejar los datos con una base espacial. Para poder resolver problemas relacionados a los sistemas AyA es necesario contar con datos confiables, por lo que se estima que la información generada en el proyecto ayudará en diversos aspectos a resolver problemáticas relacionadas con tuberías y colectores de saneamiento.

Los datos generados permiten a mediano plazo tener la base para la constitución de un sistema integrado de información, dentro de los usos principales está el dar una atención más oportuna a los clientes mediante mejoramiento de la atención domiciliaria, gestión de cortes y re-conexiones, gestionar la deuda, planificar cortes de servicios por zonas, entre otros.

También permite tener lo necesario para la implementación de operaciones y gerencia de zonas, como el mejoramiento del mantenimiento correctivo de sistemas, las conexiones de nuevas obras, sectorización de redes, etcétera.

En un plazo no muy lejano, los datos generados serán la base para servicio de mapas que plantea tener la Institución en la web, así como ser la base gestora para el manejo de problemáticas masivas relacionadas con acueductos o saneamiento.

Otro aspecto a futuro, es que con los datos la ejecución de operaciones en redes en el terreno se facilita, teniendo en campo visualización de la

red, de cortes, generación de croquis en el terreno, y utilización de tecnología GPS combinado con los datos para localización, igualmente, con los colectores de saneamiento.

El tipo de dato generado permite incluir en un corto plazo una serie de vínculos con información documental del instituto, mejorando el nivel de consulta de los usuarios.

## Conclusiones

Para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el impacto de las tecnologías informáticas ha sido importante, transformando actividades técnicas y metodológicas de la Institución en todos sus ámbitos.

El desarrollo de la geografía automatizada a lo interno del AyA, en donde se integran conocimientos científicos de otras disciplinas, han permitido un avance en el mejoramiento del análisis del territorio donde se ubican los sistemas de acueducto y saneamiento, integrando en la gestión de las obras construidas y en los nuevos proyectos herramientas SIG que manejan información variada y permiten realizar síntesis simultánea de varios aspectos que atañen a una zona en específico, mejorando la capacidad de respuesta y la calidad de los proyectos en desarrollo.

La modernización de los datos a través de este proyecto, en donde se representan las obras civiles del AyA, era sumamente necesario para equipararse con el avance global y de otras instituciones del país, pero esta fase completada es solo otra más en la búsqueda de obtener datos

cada vez más fiables para la toma de decisiones. Al igual que la tecnología, la geografía automatizada avanza cada día, integrando nuevos avances que se adaptan a nuevas necesidades, por lo que el trabajo es continuo y en constante transformación en el desarrollo de información espacializada.

Con la geografía como base, es posible a partir de un SIG analizar patrones, relaciones, tendencias, monitoreos, realizar evaluaciones, gestionar grandes volúmenes de datos, administrarlos y darles mantenimiento. En síntesis, las herramientas SIG son un gran avance tecnológico que permiten solucionar muchos problemas que regularmente requieren acceso a diversos tipos de información.

Quedan muchos retos por delante, como lo es la integración de los SIG en los levantamientos de información regular que realiza el personal del AyA en el campo, el desarrollo de una plataforma interna de gestión integrada (Infraestructura de Datos Espaciales IDE) que permita una interacción más cercana de todos los funcionarios con los datos de los sistemas y que la actualización de la información sea en tiempo real, integración de otras plataformas informáticas del Instituto.

## Recomendaciones

Es importante continuar con el desarrollo de la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), que permita la integración en todos los diversos ámbitos del Instituto de los datos generados en el proyecto y lo que se generará en el futuro, para lograr un máximo provecho a la información generada.

El desarrollo de la IDE será un elemento impulsor del desarrollo del Instituto, en el cual se integrarán todos los esfuerzos institucionales de tecnología SIG, y se convertirá en el repositorio de datos más importante de acueductos y de saneamiento, y en general del recurso hídrico de todo el país.

La recomendación principal es que se impulse este desarrollo IDE, que permitirá al AyA colocarse como una institución de avanzada, no solo en Costa Rica sino a nivel Latinoamericano, en el manejo y gestión del recurso hídrico y los sistemas de abastecimiento y recolección asociados.

La inversión en nueva tecnología mejorará la calidad del servicio prestado por el AyA, por lo que es relevante continuar con las tendencias globales de implementación de geoservicios web, abarcando funcionalidades como visualización, búsqueda y edición de información espacial de los sistemas en la red.

Un servicio de mapas en Internet permitiría a los usuarios de AyA acercarse más a la institución, por ejemplo una municipalidad que tenga necesidad de consulta sobre cobertura de un acueducto, o una aplicación en los teléfonos inteligentes que permita que un cliente reporte en tiempo real una zona con problemas de desabastecimiento de agua potable o una avería en una calle.

La incorporación de las regiones AyA en la actualización de datos es fundamental para la planificación adecuada del Instituto. El uso que le puedan dar a la información generada en el proyecto y su participación en la renovación continua de esos datos les puede convertir en impulsores de una mejor y más adecuada forma de gestionar toda la Institución, por lo que es sumamente recomendable

que se desarrollen en el seno de cada región áreas que se dediquen al levantamiento y a poner al día la información de los sistemas.

## Referencias Bibliográficas

AERODIVA- TERRA XXI (2014). Productos generados en la consultoría para la construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de los sistemas de agua potable y saneamiento para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Madrid, España.

Barrantes Echeverría, R. (2002). Investigación, un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo y cuantitativo. San José, C.R.: EUNED.

Buzai, G. D. (2011). Geografía y Sistemas de Información Geográfica (Evolución teóricometodológica hacia campos emergentes): Conferencia Magistral XIII EGAL Costa Rica 2011. Universidad Nacional de Luján, Programa de Estudios Geográficos, Argentina.

Cervera, B. y Rodríguez, J. (2008). Captura de información alfanumérica. México: Alfaomega.

Durant, M., Lévy, J., y Retailié, D. (1992). Le monde, espaces et Systemes, Preses de la Fondation Nationale des sciences Politiques et Dalloz. París, Francia.

ESRI (Environmental Systems Research Institute), ArcGIS Resources (2015). La importancia del control de calidad. California, EE.UU. Recuperado: <http://resources.arcgis.com/es/communities/data-reviewer/01rp00000006000000.htm>

Guevara, J. (1987). Guía para la implementación de un Sistema de Información Geográfica para la Planificación Regional y Nacional. Memorias de la Primera Conferencia Latinoamericana.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (2010). Datos sobre sistemas periféricos de las regiones Brunca, Chorotega, Central Oeste, Pacífico Central, Huetar Atlántica. Subgerencia de Sistemas Periféricos, Pavas, Costa Rica: AyA.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) Dirección de Desarrollo Físico (2014). Datos generados en la consultoría para la construcción y ajuste geográfico de datos espaciales de los sistemas de agua potable y saneamiento para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Pavas, Costa Rica: AyA.

Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008). Atlas cantonal digital. ITEC. Cartago, Costa Rica: ITEC.

Jones, C. (1997). Geographical information systems and computer cartography. Harlow, Longman: s.n.

Moreno, A. (2008). Sistemas y análisis de la información geográfica: manual de autoaprendizaje con ArcGIS. México: Alfaomega Grupo Editor.

Rodríguez, J.A. (2008). El modelo de datos vectorial: características y formatos. México: Alfaomega.

Somarribas, L. (2008). Hacia una geografía de redes: un nuevo paradigma de análisis espacial alternativo al enfoque regional. Revista Geográfica de América Central, 1: 41.



Solano, M., Timothy H. y Morera, C. (1993)  
Sistemas de Información Geográfica (SIG) como  
herramienta para el análisis espacial de los recursos  
hídricos. Revista Geográfica de América Central,  
27, 123-135.



# SANEAMIENTO



Andrés  
Lazo Páez <sup>1</sup>



Álvaro  
Araya García <sup>2</sup>

## Aplicación de la tecnología “lodo activado integrado con biopelícula fija” en plantas de tratamiento de aguas residuales tipo lodos activados

### Resumen

En aguas residuales tipo ordinario, el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) comúnmente se enfoca a tecnologías tradicionales, tales como: lagunas facultativas, lodos activados modalidad convencional y aireación extendida, sistemas anaerobios, filtros percoladores, etc. Sin embargo, no es común observar alternativas que aprovechen la infraestructura existente para incrementar la capacidad de tratamiento de estos sistemas, con una minimización de la inversión requerida. La tecnología de lodo activado integrado con biopelícula fija (IFAS, por sus siglas en inglés) se presenta como una opción robusta para mejorar el desempeño de PTAR aireadas existentes, al mismo tiempo que permite ampliar su capacidad (según el caso específico) incluso hasta en un 50% adicional a lo establecido en el diseño original.

En este documento se presenta la aplicación de los conceptos IFAS al caso específico de la PTAR

El Roble, en Puntarenas (Costa Rica) administrada por AyA. Se realizó el pre-diseño de una mejora basada en IFAS a finales del año 2012. En la conceptualización se trató de aprovechar la ventaja de contar con sedimentadores secundarios de gran tamaño, lo cual podría haber sido un factor limitante para el concepto global. El costo de implementación aproximado fue US \$1,200,000, lo cual se ejecutó durante los años 2013 y 2014, con recursos propios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

**Palabras clave:** Biopelícula sumergida, lodo activado, biofilm, incremento capacidad orgánica, planta de tratamiento-El Roble, Puntarenas, tecnología IFAS.

<sup>1</sup> Ing. Químico y Máster en Ing. Ambiental. UEN Recolección y Tratamiento de Sistemas Periféricos - AyA. alazo@aya.go.cr

<sup>2</sup> Ing. Civil y Máster en Ing. Sanitaria. Director UEN Recolección y Tratamiento de Sistemas Periféricos - AyA. alvaraya@aya.go.cr

## Abstract

In domestic wastewater, the design of Wastewater Treatment Plants (WWTP) commonly focuses on traditional technologies, such as: facultative lagoons, extended aeration or conventional activated sludge, anaerobic systems, trickling filters, etc. However, it is uncommon to find alternatives that take advantage of the existing infrastructure to increase the treatment capacity of these systems, with a minimisation of the required investment. The integrated fixed-film activated sludge (IFAS, for its acronym in English) is presented as a robust option for improving the performance of existing aerobic WWTP's, at the same time that allows the operator to increase the treatment capacity (according to the specific case) even up to 50% of the original design condition.

This document presents a case study for the application of the IFAS concepts to AYA's WWTP in El Roble, Puntarenas (Costa Rica). A preliminary design was prepared for an IFAS upgrade at the end of the year 2012. As part of the conceptualisation it was intended to take advantage of the large sized secondary clarifiers; this is a fact that could have been a limiting factor for the overall concept. The cost of implementation was approximately \$1,200,000, and the project was implemented during the years 2013 and 2014, with funding provided exclusively by Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

**Keywords:** Submerged biofilm, activated sludge, IFAS, biofilm, increase organizational capacity, treatment Plant -El Roble , Puntarenas , IFAS technology.

## Introducción

Dentro del área de gestión de aguas residuales tipo ordinario en Costa Rica, es común encontrar PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales) construidas hace varios años y que han sido abandonadas por sus respectivos entes administradores. De forma similar, es posible observar sistemas de tratamiento que han alcanzado su vida útil, en términos de la población para la cual fueron diseñados. Esta situación implica un tope de la capacidad hidráulica y orgánica máxima de los sistemas en cuestión.

Comúnmente, la inversión requerida para ampliar la capacidad de tratamiento de un sistema aerobio, específicamente lodos activados, abarca no sólo una mejora en equipamiento, sino que se necesita también una ampliación de la infraestructura. Frecuentemente, se piensa en construir módulos completos de tratamiento nuevos, lo cual encarece de manera considerable cualquier proyecto para incrementar su capacidad de tratamiento. El presente documento se orienta a presentar una alternativa viable, según las condiciones específicas de cada caso, que permite utilizar prácticamente la misma infraestructura en conjunto con una mejora de equipamiento para poder tratar caudales mayores a los establecidos en el diseño original del sistema.

La PTAR El Roble (lodos activados, modalidad convencional) permite tratar y disponer apropiadamente el agua residual generada por más de treinta y cinco mil personas. La misma fue construida en el año 1991, y al momento de su remodelación se encontraba al tope de su capacidad hidráulica y orgánica. Por lo tanto, una alternativa

como el lodo activado integrado con *biopelícula fija* se perfila como apropiada para atender las necesidades de tratamiento en este sistema.

El objetivo general del proyecto es presentar la tecnología IFAS como una opción para el tratamiento de aguas residuales tipo ordinario, y aplicar los criterios del caso para determinar los insumos requeridos para incrementar la capacidad hidráulica y orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de El Roble, Puntarenas, por medio de la aplicación de la tecnología de *lodo activado integrado con biopelícula fija*. Como objetivos específicos se tiene:

- Mejorar la calidad del vertido de la PTAR El Roble.
- Mejorar los indicadores de gestión operativa de AyA (supervisados por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, ARESEP).
- Investigar y desarrollar una nueva tecnología aplicable a muchas de las instalaciones con las que cuenta AyA hoy en día.
- Reducir el monto institucional a cancelar por concepto del Canon Ambiental por Vertidos.

## Lodo activado integrado con biopelícula fija

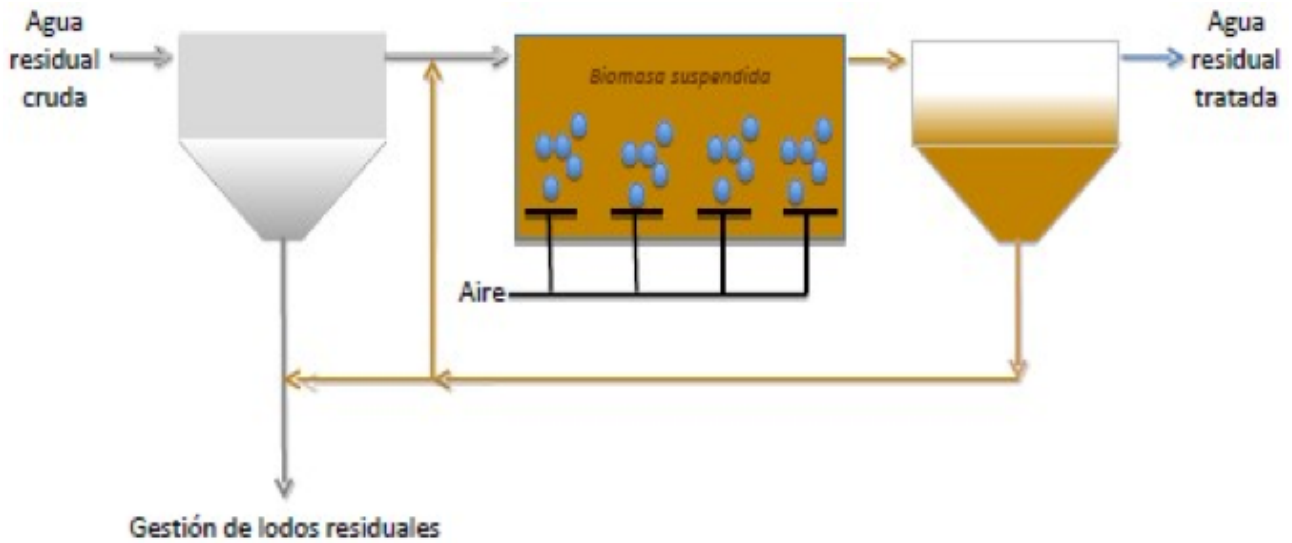
En los reactores biológicos de los sistemas de lodos activados ocurren reacciones bioquímicas que permiten estabilizar y remover materia orgánica. La biomasa que se acumula en esta unidad utiliza el sustrato presente en el agua residual cruda para desarrollarse (Figura N° 1). Posteriormente, en el sedimentador secundario ocurre la sedimentación

de los sólidos (la biomasa misma), permitiendo que el efluente final sea clarificado. Los sólidos sedimentados en el fondo del sedimentador secundario son recirculados al reactor, aumentando la concentración de biomasa en el mismo, lo cual es responsable de la elevada eficiencia del sistema.

Al ser un sistema aerobio, la materia orgánica que ingresa al sistema se convierte en: CO<sub>2</sub>, nuevos microorganismos, subproductos de la degradación de materia orgánica, y material biológico acumulado durante las diferentes etapas del tratamiento. Estos residuos son generados y tratados en una sección diferente de la Planta de Tratamiento en cuestión. Es decir, el diseño completo de la PTAR siempre debe contemplar una línea completa para tratamiento de agua residual, y otra para lodos residuales.

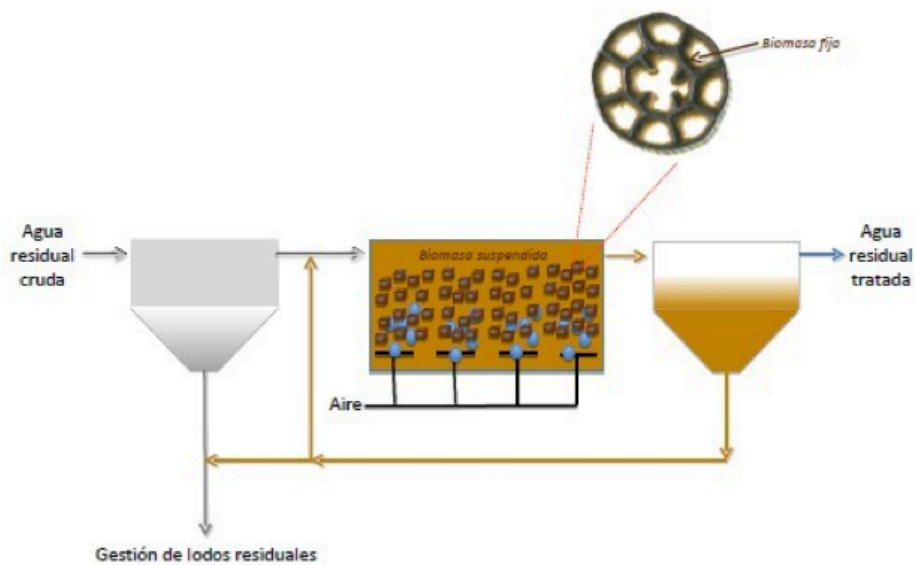
La variante tecnológica de lodo activado integrado con *biopelícula fija* o bien *integrated fixed-film activated sludge (IFAS)*, por sus siglas en inglés), busca generar condiciones para aumentar la cantidad de biomasa presente en el tratamiento aerobio (Figura N° 2). Esta condición permite tratar un caudal mayor de aguas residuales, sin que se requieran más tanques de aireación y otros complementarios (al menos para agua residual tipo ordinario). En adición a la biomasa suspendida en un lodo activado típico (convencional, aireación extendida, etc), se emplea una población de microorganismos (biopelícula) fijada en una superficie específica, lo cual elimina la necesidad de aumentar la población de sólidos suspendidos en la etapa biológica. Tal condición permite, al mismo tiempo, evitar un incremento desmedido en la carga de sólidos superficial aplicada a los sedimentadores secundarios.

**Figura N° 1**  
**Configuración básica de un sistema de lodos activados convencionales**



Fuente: UEN RyT-SP, 2013.

**Figura N° 2**  
**Configuración básica de un sistema de lodos activados modalidad IFAS**



Fuente: UEN RyT-SP, 2013.

Existen diferentes modalidades para aplicación del concepto IFAS, no obstante, la mayoría de ellas se pueden agrupar en dos grandes tipos: medio disperso contenido en el tanque de aireación, y medio fijo tal como es aquel fijado a la infraestructura del tanque de aireación. En el caso de medio disperso, comúnmente se utilizan elementos porosos (esponjas) o bien plásticos (cubos, o cilindros) para fijar la biomasa. Por otra parte, el medio fijo comúnmente comprende elementos modulares que se pueden fijar en algún punto, ya sea elaborados con plástico o algún tipo de tejido artificial. Ambos tipos de material son válidos, y presentan diferentes ventajas y desventajas, las cuales deben ser valoradas en conjunto con las condiciones de proceso (aireación, mezcla, acceso para limpieza, perfil hidráulico, etc.)

Según WEF (2011), las principales ventajas de un proceso *IFAS* son:

- Permite incrementar la capacidad o mejorar el desempeño por medio de la adición de más medio plástico para soporte de biopelícula.
- Facilita el incremento de la biomasa disponible para el tratamiento sin aumentar la carga de sólidos sobre los sedimentadores secundarios.
- Posibilita el tratar más agua residual en un espacio más reducido, ya que es un proceso de alta tasa (carga orgánica aplicada).
- Favorece las características de sedimentabilidad del lodo residual (valores menores del Índice Volumétrico de Lodos).
- Tiende a reducir la producción de lodos residuales.

- Posibilita los procesos de nitrificación y desnitrificación.
- Ofrece una mayor capacidad para enfrentar picos periódicos de carga hidráulica y orgánica.
- Permite una mejora en la eficiencia de transferencia de oxígeno, ya que el medio plástico incrementa el tiempo de retención de las burbujas de aire.

Para efectos de valoración de la implementación de la alternativa *IFAS*, WEF (2011) nombra las siguientes posibles desventajas:

- Potencial generación de olores durante las operaciones de vaciado de los módulos de tratamiento (baja frecuencia).
- Necesidad de entrenar al personal operativo para la atención de las necesidades del nuevo proceso de tratamiento.
- Incremento de la pérdida de cabeza hidráulica en el sistema, asociada al medio plástico para soporte de biopelícula, y a otros elementos necesarios para su retención en la etapa de aireación.

Otra variante importante que puede ser empleada en estos sistemas es el uso de medio plástico para soporte de biopelícula sólo en una parte del volumen del tanque de aireación, o bien en la totalidad del mismo. Las aplicaciones típicas de sistemas *IFAS* pueden agruparse en tres categorías:

- Incremento de capacidad de una PTAR, manteniendo el mismo nivel de tratamiento.

- Mejora del nivel de tratamiento, con la misma capacidad de una PTAR.
- Facultar remoción de nutrientes, para cumplir nuevos parámetros de vertido, con la misma capacidad de una PTAR.

La alternativa tecnológica en cuestión ha sido implementada con mucho éxito en países como Canadá, Estados Unidos, México, Chile y Brasil, precisamente en aplicaciones similares de tratamiento de agua residual tipo ordinario. La ampliación de la capacidad de tratamiento en plantas existentes que han llegado a su límite operativo por medio de IFAS es una práctica común. Adicionalmente, la alternativa IFAS es respaldada por literatura técnica reconocida internacionalmente, y fundamentada por numerosos investigadores a nivel mundial

## Aspectos básicos para un buen funcionamiento de un proceso IFAS

### Medio de soporte de biopelícula

El uso de superficies sólidas y medio para acumulación de biopelícula es un concepto que tradicionalmente se ha utilizado en diseños nuevos, aunque en años recientes se ha empleado como una forma de incrementar la capacidad de tratamiento de sistemas de lodos activados. Las características del medio de soporte de biopelícula es la base, tanto para la estimación del potencial de degradación de materia orgánica, como para determinar el grado de simplicidad con que contará la PTAR. De ahí que se hace necesario delimitar el grado de detalle

de la información a presentar en este documento; para el caso en cuestión solamente se describirá la tecnología basada en *medio disperso*.

Los sistemas IFAS con medio disperso típicamente emplean elementos plásticos (duros) o esponjas (blandos), similares a los que históricamente se han empleado para filtros percoladores, que acumulan biomasa activa en su interior. Existen varios fabricantes de este tipo de materiales, quienes tienen sus propios diseños con dimensiones particulares ya comprobadas como óptimas para diferentes tipos de tratamiento de agua residual. Según WEF (2011), algunos de los más reconocidos a nivel mundial son: *Veolia/Kruger (AnoxKaldnes, Inc.)*, *Headworks BIO*, *Infilco Degremont*, *Siemens/US Filter*, y *Entex*. Las áreas superficiales específicas para las que comúnmente se diseñan las celdas plásticas se encuentran entre 350 y 1200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

El área superficial específica está estrechamente relacionada con el flux a través de la biopelícula por formar en el medio plástico. Es decir, la tasa por unidad de superficie a la que se puede transportar el contaminante a través de la interfase líquido-biopelícula. Esto es una forma de representar, hasta cierto punto, los gramos de contaminante potencialmente removibles por metro cuadrado de biopelícula por día. Por lo tanto, no se trata de la superficie propia del plástico.

De manera general, el medio plástico cuenta con una densidad menor a la del agua, y se busca distribuirlo en toda la matriz del reactor biológico con la ayuda del equipo de aireación, o bien por medio del uso de mezcladores sumergibles. Este tipo de elementos funciona bien con burbuja gruesa y burbuja fina. Adicionalmente, el polietileno de alta

densidad (material más común), bajo condiciones normales de operación, no tenderá a degradarse ni requerirá reemplazo periódico, especialmente si la técnica de fabricación del mismo incluyó inhibidores UV.

Para evitar la pérdida de celdas plásticas para soporte de biopelícula es necesario el uso de retenedores, con un tamaño de malla menor a las dimensiones externas del elemento plástico. A pesar de que existen diferentes configuraciones, las más utilizadas son: panel plano y elementos cilíndricos bridados. En realidad, lo importante es utilizar una figura geométrica que permita minimizar la pérdida de carga en el perfil hidráulico de la PTAR.

Otra opción consiste en emplear esponjas hechas de una espuma reticulada de polietileno. Este material cuenta con una gravedad específica cercana a la del agua, lo cual permite una buena distribución en el medio, siempre y cuando exista un grado de mezcla apropiado. No obstante, hay algunos aspectos operativos que han limitado cada vez más el uso de esponjas para aplicaciones tales como el IFAS. Experiencias prácticas han demostrado que el material predominantemente poroso es muy propenso a obstruirse. Igualmente, en este tipo de materiales es difícil que se dé el desprendimiento normal requerido de biopelícula. En el caso de material plástico, la biopelícula más vieja se desprende por el tipo de burbuja utilizada y la colisión constante entre elementos plásticos. Por todo lo anterior, con elementos eminentemente porosos (esponja) el desempeño del sistema biológico eventualmente decaería conforme se vaya obstruyendo. Adicionalmente, esto generaría una operación y un gasto adicionales, por medio de los cuales se logre bombear el material poroso fuera de los tanques, para posteriormente aplicar

cierta presión sobre los mismos para eliminar biopelícula en exceso, y eventualmente reingresar los elementos al sistema de tratamiento

## Controles y parámetros operativos

A pesar de que las características del medio para soporte de biopelícula es uno de los criterios más importantes para el diseño y control de los sistemas IFAS, es necesario considerar aspectos operativos mínimos que permitan determinar el buen funcionamiento del tratamiento. En primera instancia es posible anotar los factores que controlan el flux de sustrato a través de la biopelícula. Por su naturaleza, este flux se ve influenciado por:

- Concentración de sustrato (agente contaminante), el cual podría ser, según el diseño DQO, DBO u otro relacionado.
- Concentración de aceptores de electrones (oxígeno disuelto, formas oxidadas de nitrógeno, etc).
- Espesor de la capa de biopelícula.
- Densidad de la biomasa en la biopelícula.
- Grado de mezcla.

En segunda instancia, es necesario que todo sistema IFAS cuente con un pre-tratamiento adecuado antes que el agua pase al sistema biológico. Tal condición es útil para prevenir deterioro prematuro, o acumulación de material inorgánico tanto en el medio plástico para soporte de biopelícula, como en los elementos para retención de celdas plásticas que comúnmente se instalan a la salida de la etapa biológica. Dos de las opciones consideradas como óptimas son el uso de tamicés

y sedimentación primaria, o bien, al menos uno de estos dos.

Como un tercer punto fundamental para el control de proceso, es posible citar un control adecuado del caudal de ingreso a la PTAR. Esto por cuanto el tiempo de retención hidráulico es fundamental para la aplicación. El mismo, debe ser cuidadosamente calculado y mantenido no sólo para efectos del proceso de degradación biológica, sino también para minimizar las pérdidas a la salida de la etapa biológica.

Algunas razones adicionales que permiten justificar esta nueva alternativa frente a otras, contemplan la búsqueda de:

- Ampliación de la vida útil de la PTAR El Roble con un mínimo de inversión.
- Mejora de la capacidad del sistema para soportar cargas orgánicas e hidráulicas repentinas.
- Incremento de la estabilidad del proceso de tratamiento (mayor población de microorganismos).
- Mejora de la sedimentabilidad del lodo biológico.
- Requerimiento de un tiempo de retención hidráulico menor.
- Aprovechamiento de obra y capacidades ya existentes: equipo electromecánico, infraestructura, conocimiento del proceso, y personal operativo.

Por último, el desempeño de un sistema como el propuesto también depende de factores operativos básicos, los cuales son monitoreados en muchas otras PTAR tipo lodos activados. Elementos tales como los sólidos en suspensión, el índice volumétrico de lodos, la temperatura, el pH, y la calidad misma del vertido, son sólo una parte de ellos.

## Condiciones para diseño en la PTAR El Roble y limitantes

El diseño elaborado por la empresa Headworks BioTM, en conjunto con la empresa adjudicada: Soluciones Técnicas Ambientales S.A. El material base para el desarrollo de biopelícula está protegido por patente, y además, posee parámetros tales como área superficial disponible, tasa promedio de remoción de carga orgánica y desempeño real, que son manejados como información confidencial por las empresas que ofrecen servicios y productos en este campo. Adicionalmente, es importante anotar que este tipo de empresas ofrece la opción de simular el sistema propuesto con base en las condiciones indicadas por el cliente (en este caso AyA), lo cual permite tener una mayor claridad en cuanto al desempeño eventual esperado.

Ahora bien, para ilustrar un escenario posible de aplicación de la tecnología IFAS al caso de El Roble se partió de algunos supuestos de diseño relacionados con el caudal de ingreso y la calidad del agua residual cruda (Cuadro N° 1). La información base fue recopilada por la Subgerencia de Sistemas Periféricos, y fue procesada y modificada para un diseño conservador por parte de la empresa (*Headworks Bio<sup>TM</sup>*). En términos generales, se estudió la solución para un caudal promedio de 80 l/s y una  $DBO_{5,20}$  promedio de 243

**Cuadro N° 1**  
**Supuestos de diseño para la mejora IFAS en El Roble (ingreso a los reactores biológicos)**

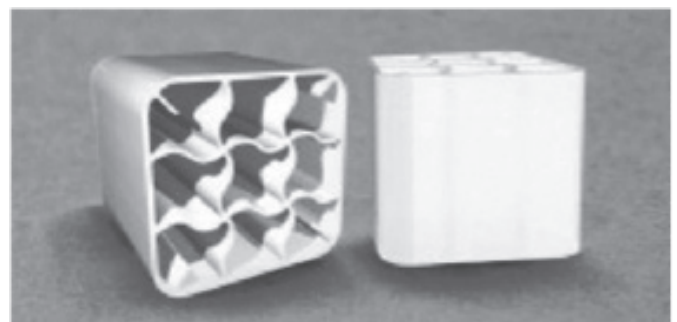
Parámetro	Valor
Caudal promedio diario, Qprom (m <sup>3</sup> /d)	6912
Caudal máximo diario, Qmaxd (m <sup>3</sup> /d)	8640
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO (mg/l)	243
Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/l)	506
Sólidos Suspendidos Totales, SST (mg/l)	235
Grasas y Aceites, GyA (mg/l)	30
Temperatura mín/máx, T (°C)	24 / 30
pH	6,2 – 7,9
Alcalinidad, Alc (mg/l)	250

**Fuente:** UEN Recolección y Tratamiento SP AyA, 2013

mg/l, DQO promedio de 506 mg/l, y una temperatura del agua entre 24 y 30 °C. Las otras características complementarias son típicas para un agua residual de procedencia domiciliar.

El material base para acumulación de biopelícula propuesto para el diseño preliminar es el denominado como *ActiveCell920*. Este tipo de elementos son materiales neutrales de PEAD, con gravedad específica menor a la del agua, diseñados exclusivamente para el uso en bioreactores, y en los cuales se ofrece una base estable para el crecimiento de las comunidades de microorganismos requeridas. Cada elemento posee una alta razón de superficie por volumen unitario, lo cual permite concentrar microorganismos sin dejar de lado las condiciones necesarias para permitir el paso de agua residual a través de su estructura interna. Las especificaciones empleadas

**Figura N° 3**  
**Elementos base para desarrollo de biopelícula**



**Fuente:** Headworks Bio, 2012

fueron: polietileno de alta densidad, virgen, blanco, gravedad específica 0,96 +/- 0,02, y área superficial efectiva 680 m<sup>2</sup> /m<sup>3</sup>.

Según las especificaciones técnicas aportadas, los elementos *ActiveCell920* son ampliamente utilizados para aplicaciones de agua residual tipo ordinario. Las aperturas con las que cuentan están optimizadas para las tasas de carga orgánica aplicada contempladas en el pre-diseño, sin generar una condición que permita obstrucción de los elementos. Adicionalmente, la forma de cubo permite obtener la mayor densidad de empaquetamiento posible, de forma tal que más piezas de material plástico puedan ser empacadas en un volumen determinado. Esto tiene como consecuencia una mayor superficie efectiva por unidad de volumen de reactor.

La propuesta implementada considera el uso de los dos tanques de aireación existentes en el sitio, pero con una división transversal en la mitad de cada uno. Es decir, si cada uno tiene un volumen de 468 m<sup>3</sup>, se procuraría generar dos volúmenes de 234 m<sup>3</sup> cada uno. Esto implicaría contar con dos unidades (existentes) divididas en cuatro partes totales.

En términos de adición de material de empaque, se propone operar con una fracción de llenado del 35% en la primera sección de cada tanque de aireación. Este factor se estima con base en el área superficial requerida para la degradación, y la tasa de remoción de materia orgánica por unidad de superficie. Para el caso del segundo compartimento de cada módulo, se propone trabajar sin material de soporte para generación de biopelícula.

La propuesta considera que es posible alcanzar

los límites de vertido con esta configuración. Adicionalmente, indica que con la adición de más material plástico y la generación correspondiente de biopelícula sería posible tratar incluso más agua residual. Sin embargo, esta condición estaría limitada por la capacidad de los sedimentadores secundarios existentes. En este caso, se considera que para operar en condiciones estables sería factible trabajar hasta un volumen máximo total de hasta 108 l/s (9330 m<sup>3</sup>/d). Tal y como indica el Cuadro N° 1, el presente diseño es para 80 l/s (6912 m<sup>3</sup>/d).

Ahora bien, la biopelícula que se genera en el material plástico corresponde a una biomasa equivalente de entre 6000 y 10000 mg/l, un valor bastante alto si se compara con el nivel típico de sólidos suspendidos en el tanque de aireación 2500-3500 mg/l. Por esta razón, al tratarse de material biológico, también es necesario suplir las condiciones de supervivencia óptimas para estos nuevos microorganismos que se incorporan al tratamiento. Esto implica el requerimiento de oxígeno (y en consecuencia aire) adicional al sistema, el cual trabajaría en conjunto con la capacidad instalada al día de hoy en El Roble.

Muchos promotores de la alternativa *IFAS* proponen, con base en su experiencia, utilizar un tamaño de burbuja intermedio entre fino y grueso para la aireación adicional. Esto es recomendado incluso en literatura científica (WEF, 2011) para permitir un buen grado de movimiento del material plástico, al mismo tiempo que se da un choque forzado entre los mismos. Tal condición, permite garantizar un mecanismo continuo de auto limpieza de excesos de biopelícula. Esto no quiere decir que el uso de burbuja fina no sea permitido; no obstante, se considera que no es la opción óptima. Aun así,

en casos particulares es posible utilizar sistemas híbridos.

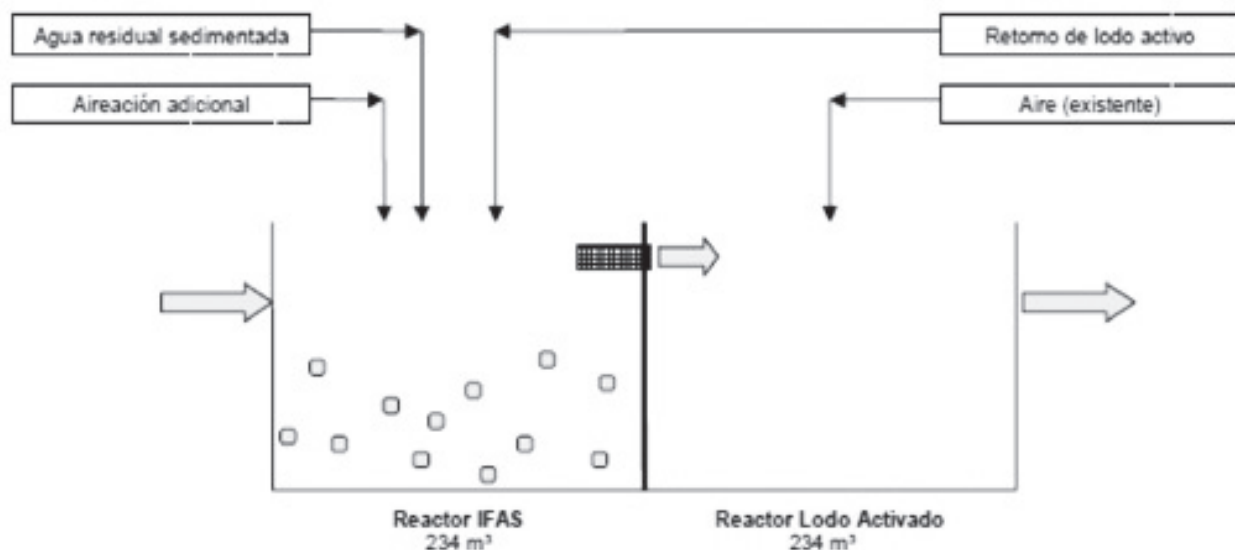
Con base en el uso de burbuja mediana en los compartimentos IFAS (el primero de cada tren de tratamiento), el requerimiento de aire estimado es 2440 SCFM a poco más de 5 psi. Los sopladores instalados fueron del tipo *Heliflow*, con gabinete de insonorización y control de operación por medio de un conjunto controlador lógico programable. La potencia de cada una de las tres unidades instaladas fue de 55 kW, según especificación del fabricante para el punto de operación estimado, asimismo, se implementó la opción de utilizar un sistema basado en medidas que permitan generar un alto grado de eficiencia energética en el proyecto. Esto consiste en contar con un controlador lógico que permita:

- Ecuilibrar las horas de funcionamiento de cada uno de los sopladores a instalar.

- Optimizar el suministro de aire según el requerimiento determinado para la operación diaria (3 mg/l). Se plantea un soplador para cubrir el consumo base de aire, mientras que el controlador elige la mejor manera para cubrir el consumo variable de aire requerido en cada instante.
- Minimizar el número de unidades a instalar con variadores de frecuencia.

Un esquema general de las mejoras (*IFAS*) implementadas en El Roble se muestra en la Figura 4. Según lo que se ilustra, los componentes mayores por implementar corresponden a: equipo de aireación y su respectiva caseta, tubería para distribución de aire, difusores de burbuja mediana, acometida eléctrica, pantallas divisorias, elementos para retención de material plástico, y el material base para el desarrollo de biopelícula.

**Figura N° 4**  
**Esquema general de la propuesta preliminar**



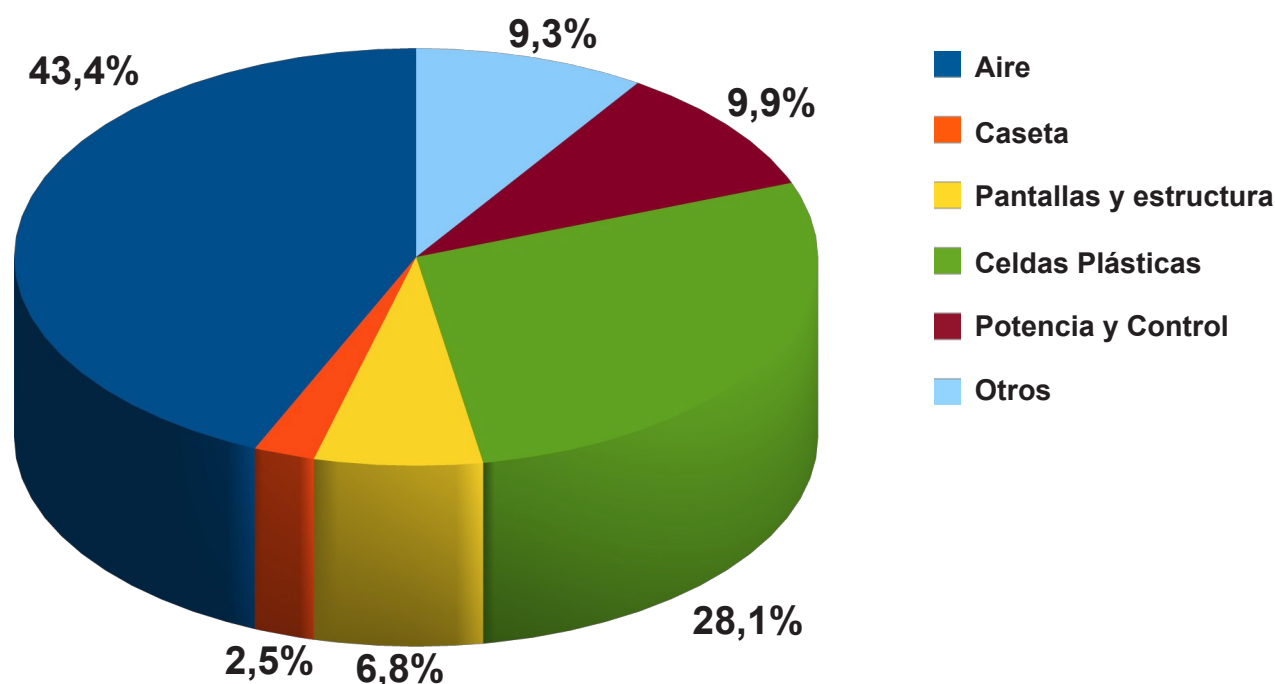
Adicionalmente, existieron otros componentes relacionados con mejoras en la recirculación de lodos activos, medición de caudal, y la estructura general de la planta.

El sistema implementado es parte de la experiencia operativa que al día de hoy está adquiriendo la Región Pacífico Central. Aunque al día de hoy se ha cumplido la calidad de vertido establecida por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, aún se están realizando los ajustes operativos y de mantenimiento de equipos necesarios para optimizar el sistema. Esto por cuanto se trata de una tecnología nueva que ha exigido incluso cambios parciales en la rutina diaria de operación y mantenimiento de la Oficina Cantonal de Puntarenas.

## Costos aproximados iniciales (inversión)

Según lo detallado anteriormente, es posible estimar los costos preliminares de inversión para el proyecto en poco más de US \$1,200,000. Este monto ya contempla el suministro de insumos, la instalación y puesta en marcha del sistema, y el componente de capacitación requerido para el personal operativo. La implementación de la mejora sería realizada bajo la modalidad llave en mano, de tal manera que se minimicen los plazos requeridos para poner en funcionamiento el sistema. Una distribución aproximada de costos se presenta en la Figura N° 5.

**Figura N° 5**  
**Distribución de costos según proyecto IFAS**



Un factor importante a considerar en este estudio es el hecho de que la PTAR El Roble contaba con algunos problemas estructurales, los cuales se atacaron dentro de este mismo proceso licitatorio. De hecho, de no haber requerido mejoras adicionales a las relacionadas directamente con el proceso biológico, el costo total inicial del proyecto se podría haber reducido entre un 10% y un 15% del estimado final.

Otro factor a favor del proyecto planteado es el potencial ahorro para AyA por concepto del Canon Ambiental por Vertidos (Decreto 34431-MINAE-S). Actualmente, la institución cancela el 10% de lo establecido en el esquema progresivo de cobro, lo que representa aproximadamente \$23,000 anuales. Eventualmente, si se considera un pago del 100% del Canon y si se supone que el valor a pagar permanece relativamente constante, se estaría hablando de un ahorro anual estimado de \$230,000. Bajo este último supuesto, el período de pago de la inversión sería incluso menor a 5 años.

## Conclusiones

- Con un diseño IFAS la PTAR El Roble se pudo pasar de tratar un caudal promedio de 55 l/s a un caudal promedio de 80 l/s. Es decir, se pudo incrementar su capacidad de tratamiento en 45%, orientado siempre a atender solamente necesidades de crecimiento vegetativo.
- El componente de inversión más significativo para la inversión en un sistema IFAS para El Roble fue la adición de capacidad de aireación. Tal rubro constituyó poco menos del 50% de la inversión total.

- Bajo las condiciones actuales, la implementación de un sistema IFAS para El Roble permite, además de un cumplimiento sostenido de los Límites Máximos Permisibles establecidos en la Legislación Costarricense, un ahorro anual por concepto de Canon Ambiental por Vertidos de hasta US\$ 23,000. Eventualmente, este valor podría ascender hasta US\$ 230,000.
- El sistema IFAS es aplicable tanto a países con clima tropical, como a otros de clima templado.
- La inversión requerida para implementar un sistema IFAS depende fuertemente del diseño original de la PTAR en cuestión. No es posible generalizar el caso de El Roble para cualquier otro tipo de sistema, no obstante, se proyecta como una alternativa viable para rehabilitar sistemas aireados ubicados en desarrollos habitacionales que ya han alcanzado su capacidad orgánica máxima de tratamiento en Centroamérica.

## Agradecimientos

Consejo Editorial de la Revista Hidrogénesis, UEN Recolección y Tratamiento de la Subgerencia de Sistemas Periféricos, Región Pacífico Central.

## Referencias Bibliográficas

Angappan, S. (2012). Advantages & Applications of MBBR Technologies. Estados Unidos: Headwors BIO, 2012. 1-2, 6-7, 9-18, 37-38 p.p.

Angappan, S., (2012). Possibilities for an IFAS Application for El Roble Wastewater Treatment Plant, Costa Rica. [Entrevista] (Comunicación Personal, 27 Agosto 2012).

Brentwood Industries Inc. Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) Technology – Document 5.0. Estados Unidos: Brentwood Industries, Water Technology Group, 2009. 1-6 p.p.

Davis, J. (2009). et al. Compact Technology: Increasing Treatment Capacity Without Building More Basins. Estados Unidos: Florida Water Resources Journal. 24-27, 29.

Pehrson, R; McDowell, C. (2002). Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Technology for WWTP Upgrades. Estados Unidos: Water Environment Federation, WEFTEC. 2-8, 12 p.p.

Torres, L. (2013). Estimado de cobro por concepto del Canon Ambiental por Vertidos, en AyA. [Entrevista] (Comunicación Personal, 18 Marzo 2013).

Water Environment Federation <sup>®</sup> (WEF <sup>®</sup>). (2011). Biofilm Reactors: WEF Manual of Practice No. 35. Estados Unidos: McGraw-Hill. 260-262 p.p.



Alejandro  
Campos Castillo <sup>1</sup>

## Experiencias institucionales en el uso del Sistema APC para la aprobación de plantas de tratamiento de aguas residuales

### Resumen

En Costa Rica, a partir de noviembre del 2011, se empezó a utilizar el sistema digital Administrador de Proyectos de Construcción (APC) para la aprobación de planos constructivos.

Hasta julio del 2013, ingresó a dicha plataforma un total de 90 proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales, los cuales según el Acuerdo de Junta Directiva 2008-068, deben ser revisados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).

En el Área Funcional de Urbanizaciones, dependencia de AyA a cargo de la aprobación de los planos, se elaboró una base de datos a partir de la documentación presentada con cada trámite. Esto con el objetivo de analizar la tendencia en las generalidades de este grupo de proyectos.

Se encontró que el 68% de ellos corresponden a condominios, el 50% se ubican en las provincias

de San José y Heredia, en el 94% de los casos se seleccionó como tecnología de tratamiento la modificación de lodos activados con aireación extendida y el 74% descargarán su efluente en un medio receptor acuático. Además, existe una diferencia de 12% entre el número de proyectos que se encuentran aprobados en el APC y los que el AyA considera que realmente subsanaron las observaciones institucionales. El 16% de los proyectos cuentan con denuncias interpuestas por parte de AyA y este mismo porcentaje se considera que debe ser inspeccionado.

Se recomienda a los profesionales responsables de proyectos de construcción que se capaciten en el uso del sistema APC y se comprometan a acatar las observaciones institucionales, así como a atender de manera oportuna las denuncias interpuestas, pues esto se traducirá en mayores eficiencias del proceso de aprobación y en beneficios tanto para el administrado como para las instituciones.

**Palabras clave:** Trámite, tratamiento, aguas residuales, urbanización, sistema de administración de proyectos de construcción, aprobación de planos.

<sup>1</sup> Ing. Ambiental. Área Funcional de Urbanizaciones.  
acamposc@aya.go.cr

## Abstract

In Costa Rica, from November of 2011, the digital system administrator for construction projects began to be used (APC) Construction Project Administrator for approval of construction drawing plans.

Before July 2013, a total of 90 projects for sewage treatment plants accessed that platform, which according to the Agreement of the Board of Directors 2008-068, must be reviewed by the AyA.

In the Urbanizations Functional Area, an AyA dependence in charge of the drawings approval, prepared a database from the documentation submitted with each step. The purpose of this is to analyze the trend in the generalities of this group of projects.

It was found that 68% of them corresponded to condominiums, 50% are located in the provinces of San José and Heredia, in 94% of the cases the treatment technology of modification of activated sludge with extended aeration was selected; and 74% downloaded their effluent into a water sink. In addition, there is a difference of 12% between the number of projects that are approved in the APC and the ones AyA finds that really covered the institutional points. A 16% of the projects has claims filed by AyA, and this same percentage is considered to be inspected.

It is recommended that the professionals who are responsible for construction projects be trained in the use of the APC system; and also, that they be committed to comply with the institutional points, as well as to respond in a timely manner to the claims, since this will result in greater efficiencies

in the approval process, and in benefits for both the administrator and the institutions.

**Keywords:** Processing, treatment, wastewater, urbanization, management system construction projects, approval of plans.

## Introducción

En setiembre del 2011, entró a regir el decreto No. 36550-MP-MIVAH-S-MEIC Reglamento para el Trámite de Revisión de Planos para la Construcción (Diario Oficial La Gaceta No. 117, 17 de junio 2011). Éste sustituyó el trámite de visado de planos por la vía física descrito en el decreto No. 27967-MP-MIVAH-S-MEIC (Diario Oficial La Gaceta No. 130, 6 de julio 1999) y establece como mecanismo oficial de revisión el uso de una plataforma digital desarrollada por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), el Administrador de Proyectos de Construcción (APC).

Específicamente para la revisión de proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), el AyA aplica lo señalado en el decreto No. 31545-S-MINAE Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (22 dic 2003), el decreto No. 33601MINAE-S Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (19 mar 2007) y el trámite TEP-2 (Acuerdo de Junta Directiva publicado en el Diario Oficial La Gaceta No. 67, del 04 de abril del 2008).

Con el presente artículo se pretende documentar las primeras experiencias institucionales en el uso del sistema APC para la aprobación de PTAR. La divulgación de éste será clave para que las

diferentes partes interesadas (instituciones, desarrolladores, profesionales responsables de proyectos, etc) conozcan la situación actual y aporten recomendaciones para retroalimentar los mecanismos aplicados por el CFIA para el trámite de revisión de planos para la construcción, procurando mejoras en las plataformas digitales, los métodos de comunicación CFIA – AyA Administrado, la efectividad en el acato de las observaciones institucionales, etc; siempre velando por el cumplimiento de la política nacional en torno a la simplificación de trámites administrativos.

## Objetivos

### Objetivo General

- Retroalimentar los mecanismos aplicados por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica para el trámite de revisión de planos para la construcción.

### Objetivos Específicos

- Dar a conocer las generalidades de los proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales para urbanizaciones y condominios tramitados para su aprobación mediante el sistema APC, en el período noviembre 2011 – julio 2013.
- Generar recomendaciones orientadas a mejorar las plataformas digitales, los métodos de comunicación CFIA – AyA – Administrado y la efectividad en el acato de las observaciones institucionales, durante el proceso de aprobación de PTAR vía APC.

## Metodología

A partir de la información del Contrato de Servicios Profesionales para Consultoría y los demás documentos presentados junto con cada solicitud de aprobación de PTAR, se procedió a construir una base de datos para los proyectos tramitados en el período noviembre 2011 – julio 2013.

La base de datos elaborada contiene la siguiente información: nombre del condominio o urbanización, número de expediente AyA, código CFIA, código APC, ubicación (provincia, cantón, distrito), dirección exacta, plano de catastro, propietario, contacto, profesional responsable, empresa, número de unidades habitacionales, hacinamiento, total de habitantes, dotación de agua potable, factor de retorno, caudal de aguas residuales, área de construcción tramitada, monto tasado por el CFIA, monto tasado por metro cúbico, tecnología de tratamiento, método de disposición final del efluente, fecha de ingreso, profesional a cargo de la revisión institucional, estado APC, estado frente a AyA, existencia de denuncias, requerimientos de inspección y notas específicas.

Con toda la información anterior completa se elaboró cuadros y gráficos para analizar la tendencia de los datos generales de las solicitudes de aprobación.

Por otro lado, con base en los archivos de las observaciones institucionales y a partir de la experiencia de los profesionales revisores, se identificó los principales hallazgos de revisión, oportunidades de mejora en la plataforma digital y otros aspectos importantes.

## Resultados

### Cantidad de proyectos tramitados por año y mes

Desde que entró en funcionamiento la plataforma digital del APC hasta julio del 2013, se han tramitado 90 proyectos de PTAR. Aproximadamente, se revisa 5 solicitudes de aprobación al mes. Tanto en el 2012 como en el 2013, el mes con mayor cantidad de ingreso de trámites fue mayo (Figura 1).

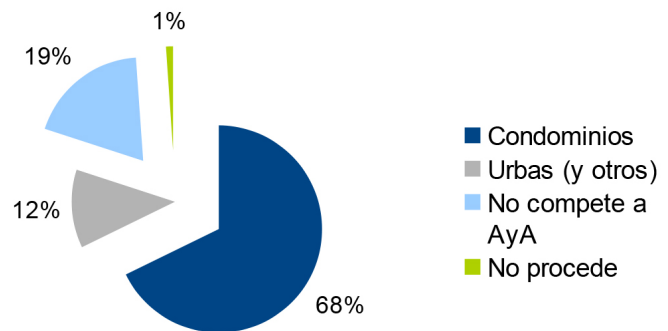
### Cantidad de trámites por tipo de desarrollo habitacional

Del total de trámites, 61 de éstos corresponden a condominios (68%), mientras que apenas 11 (12%) son urbanizaciones o de otro tipo (conjunto residencial, proyecto habitacional de interés social). La revisión de 17 proyectos (19%) no le competía a AyA, pues no correspondían a condominios o urbanizaciones, sino a locales y centros comerciales,

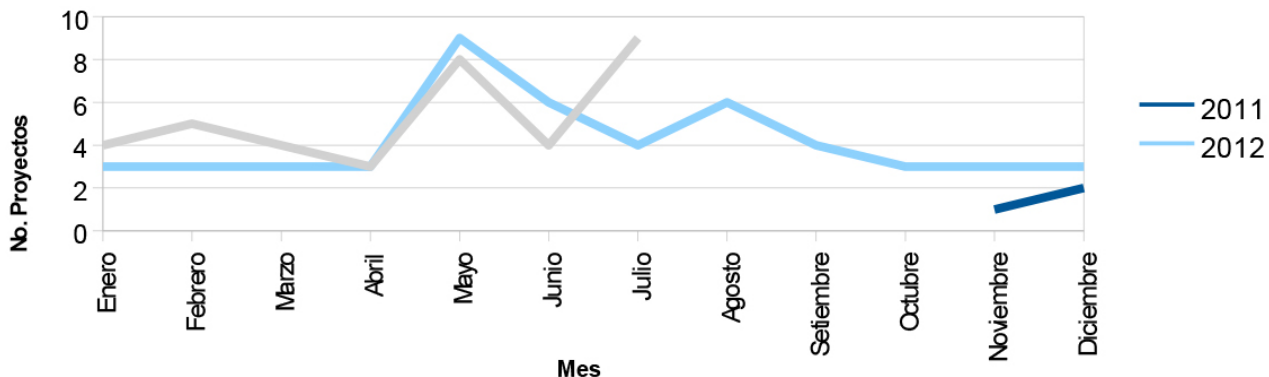
oficinas, bodegas, centros penales, casas de habitación, cabinas, hoteles, refugios de vida silvestre, supermercados e industrias (Figura 2).

También, ingresó un caso para el cual la aprobación de una PTAR no procedía, porque lo que se tramitó fue una solución de sistemas individuales de tanque séptico más filtro anaerobio de flujo ascendente para un fraccionamiento frente a calle pública.

**Figura N° 2**  
Trámites de PTAR por tipo de desarrollo habitacional



**Figura N° 1**  
Cantidad de proyectos de PTAR tramitados por mes vía APC, 2011-2013



### Cantidad de proyectos dentro (AM) y fuera (FAM) del Área Metropolitana, según clasificación de AyA

Según la clasificación del Área Funcional de Urbanizaciones de AyA, el 60% de los proyectos tramitados, correspondiente a 54 PTAR, se encuentran fuera del área metropolitana; y el resto, dentro de ella (Figura 3).

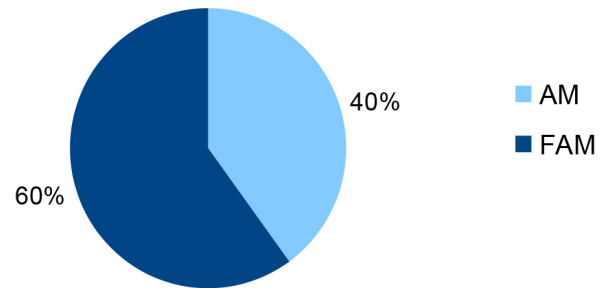
### Cantidad de proyectos por provincia y cantón

Las dos provincias del país que registran mayor cantidad de trámites de aprobación de PTAR son San José y Heredia con un 33% y 17% del total de solicitudes, respectivamente. En contraste, en la provincia de Limón solo ingresó una PTAR para revisión (Figura 4).

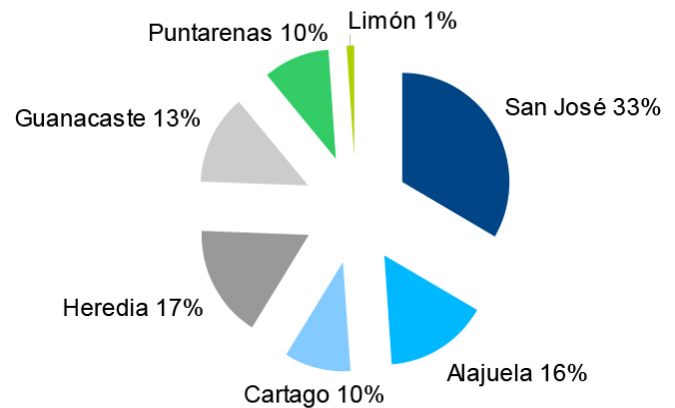
Los cuatro cantones que figuran con más proyectos tramitados en orden descendente son: Alajuela (13), Santa Ana (12), Heredia (7) y Escazú (6) (Anexo 1).

Actualmente, dos empresas son las principales tramitadoras de PTAR. Durman Esquivel S.A. ha ingresado la mayor cantidad de solicitudes de aprobación con un total de 25, correspondiente al 28% de los trámites. Mexichem Costa Rica S.A. ha tramitado 15 PTAR, correspondiente a un 17%. También, destaca la fracción de solicitudes ingresadas por consultores independientes, la cual es del 11% y representa un acumulado de 10 proyectos (Figura 5).

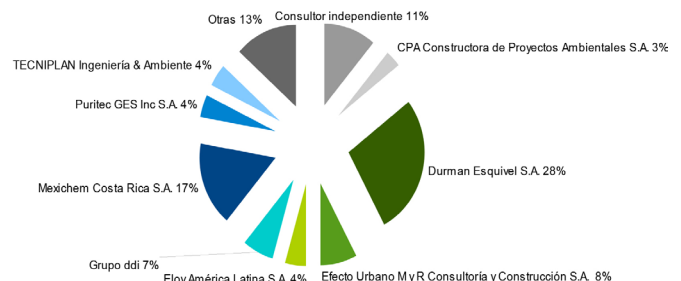
**Figura N° 3**  
 Trámites de PTAR dentro (AM) y fuera (FAM) del Área Metropolitana, según clasificación AyA



**Figura N° 4**  
 Trámites de PTAR por provincia



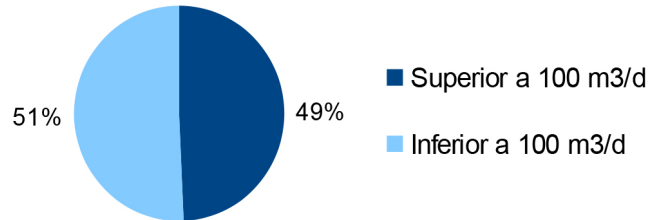
**Figura N° 5**  
 Empresas tramitadoras de PTAR



### Cantidad de PTAR tramitadas con caudales inferiores y superiores a 100 m3/d

En cuanto a la capacidad de las PTAR tramitadas hasta el momento, se evidencia que existe mucha variabilidad. Aproximadamente, la mitad de ellas fueron diseñadas para un caudal superior a 100 m3/d, y la otra mitad son de capacidad inferior a ésta (Figura 6).

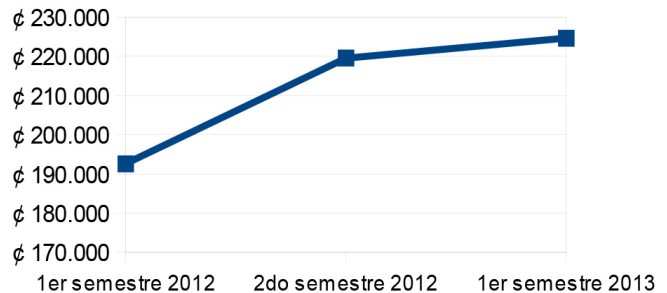
**Figura N° 6**  
Caudal de las PTAR tramitadas



### Monto tasado promedio por metro cúbico para las PTAR tramitadas, según semestre

Con respecto al monto tasado promedio por metro cúbico (monto tasado por el CFIA) para las PTAR tramitadas, éste pasó de ¢192.589/m3 en el primer semestre del 2012 a ¢219.568/m3 en el segundo semestre del mismo año, por lo cual sufrió un incremento del 14%; mientras que en el primer semestre del 2013 se incrementó solamente en un 2% con respecto al semestre anterior, quedando en ¢224.651/m3 (Figura 7).

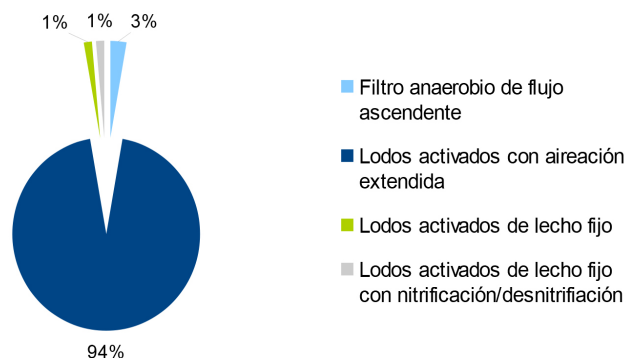
**Figura N° 7**  
Monto tasado por metro cúbico para las PTAR tramitadas



### Cantidad de PTAR tramitadas, clasificadas por tipo de tecnología

La tecnología predominante de las PTAR tramitadas es la de lodos activados con aireación extendida, la cual fue seleccionada en el 94% de los sistemas. De forma contraria, los métodos de tratamiento anaerobio fueron escogidos únicamente para el 3% de los proyectos (Figura 8).

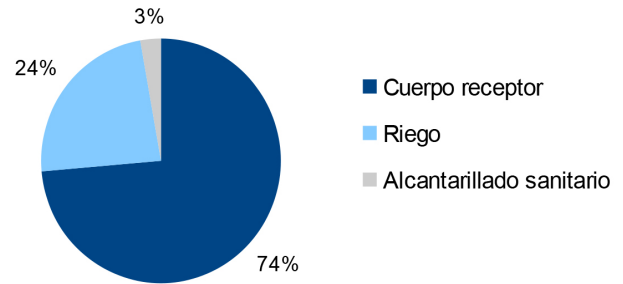
**Figura N° 8**  
Tecnologías seleccionadas y tramitadas en las PTAR



### Cantidad PTAR tramitadas, clasificadas por método de disposición final del efluente

Para el 74% de las PTAR tramitadas se seleccionó el vertido en cuerpo receptor como método de disposición final del efluente; el 24% reutilizarán el agua tratada mediante sistemas de riego y el porcentaje restante descargará su efluente en el alcantarillado sanitario (Figura 9).

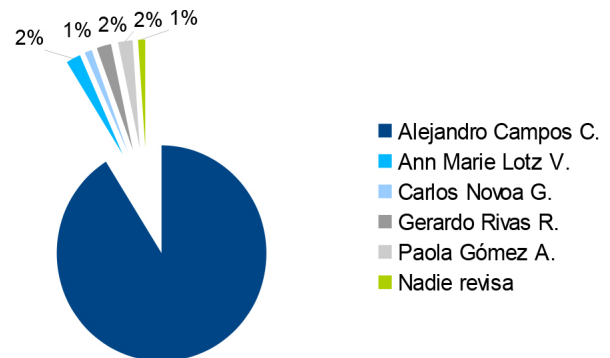
**Figura N° 9**  
**Método de disposición final del efluente de las PTAR tramitadas**



### Cantidad de PTAR revisadas por profesional de AyA

El 91% de las solicitudes de aprobación fueron revisadas por el mismo ingeniero. Esto porque la entrada en funcionamiento del sistema APC coincide con la decisión de la UEN Programación y Control del AyA de delegar la responsabilidad del trámite TEP-2 en un solo profesional (Figura 10).

**Figura N° 10**  
**Revisiones por profesional de AyA**

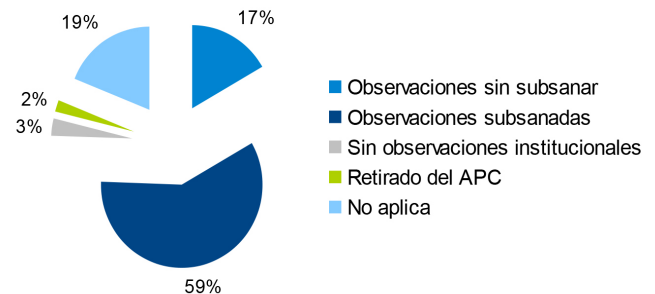


Solo un proyecto fue aprobado por silencio positivo; ésta fue la cuarta PTAR que ingresó para revisión al APC , el 10 de enero del 2012.

### Cantidad de PTAR según su detalle de estado en el APC

Al día 22 de agosto del 2013, el detalle de estado que se muestra en el APC de las PTAR tramitadas, indica que para 53 proyectos (59%) se han subsanado las observaciones institucionales, 15 (17%) aún esperan la subsanación por parte del profesional responsable y 3 (3%) se aprobaron sin observaciones institucionales (Figura 11).

**Figura N° 11**  
**Detalle de estado de las PTAR tramitadas mediante el APC**



Por otro lado, 2 proyectos (2%) fueron retirados del APC, uno porque se interpuso una denuncia en

su contra por parte de AyA y fue deshabilitado hasta que se acaten las observaciones institucionales; el otro, porque lo que se tramitó fue una línea de desfogue para una PTAR existente de una industria alimenticia, por lo cual la aprobación de un nuevo sistema de tratamiento no era la vía administrativa correcta.

Por último, la aprobación de 17 PTAR (19%) no compete a AyA por las razones que fueron expuestas previamente.

### Cantidad de PTAR según su estado ante AyA

Internamente, el AyA realiza una verificación de los documentos subsanados para comprobar si efectivamente se acataron las observaciones institucionales y se emite una resolución, la cual es incorporada en el expediente del proyecto.

Con respecto a las PTAR tramitadas vía APC, se ha emitido por parte de AyA 42 resoluciones de aprobación. Esto representa el 47% de los proyectos, es decir, existe una diferencia 12% con respecto a la fracción de solicitudes que se encuentran aprobadas en la plataforma APC. Esto sucede porque el sistema no es capaz de interpretar documentos, sino que una vez que estos se han cargado por segunda ocasión, la plataforma asume que el profesional responsable realizó todas las modificaciones solicitadas por las instituciones, situación que no siempre sucede, según lo han comprobado los profesional a cargo de la revisión por parte de AyA.

Precisamente, la diferencia del 12% mencionada anteriormente, corresponde a una porción de 12 proyectos que aún no han realizado las

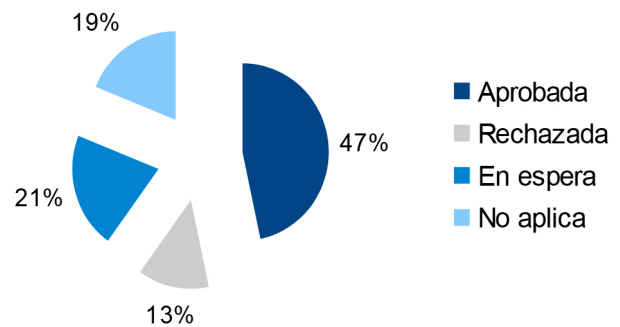
modificaciones solicitadas y en este momento, se encuentran rechazados frente a AyA. (Figura 12)

### Cantidad de PTAR denunciadas en el APC por parte de AyA

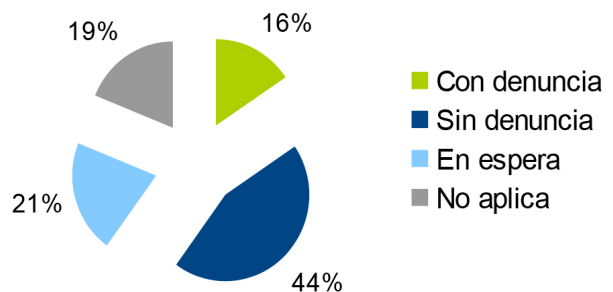
En total, 14 proyectos (16%) han sido denunciados por parte de AyA. De éstos, solo 2 han atendido la denuncia y se encuentran aprobados por la institución; el resto pertenece al grupo de proyectos rechazados. (Figura 13)

### Cantidad de PTAR clasificadas por requerimientos de inspección

**Figura N° 12**  
Estado ante AyA de las PTAR tramitadas vía APC



**Figura N° 13**  
PTAR denunciadas en el APC por parte de AyA



De todas las PTAR que han ingresado a trámite de aprobación, sólo una se ha inspeccionado. Esto por sospechas de que había sido construida antes de obtener la aprobación, lo cual se pudo comprobar el día de la visita.

Se ha determinado que otras 14 PTAR requieren ser inspeccionadas, por lo cual se está a la espera de que los profesionales responsables cumplan con su obligación de reportar el inicio de obras por medio del sistema digital (Art. 17, decreto No. 36550-MP-MIVAH-S-MEIC). Al 30 de julio del 2007, ningún profesional ha reportado dicha fecha.

Cabe resaltar que las necesidades de inspección no responden únicamente a incumplimientos en la subsanación de observaciones institucionales, sino también a factores como complejidad y magnitud de los proyectos, cercanía de zonas de protección ambiental y otros aspectos específicos que el AyA considera importante conocer sobre las obras o acerca del tipo de trabajo de un profesional en particular. Esto último con el objetivo de aumentar la selectividad en la definición de requerimientos de inspección. (Figura 14)

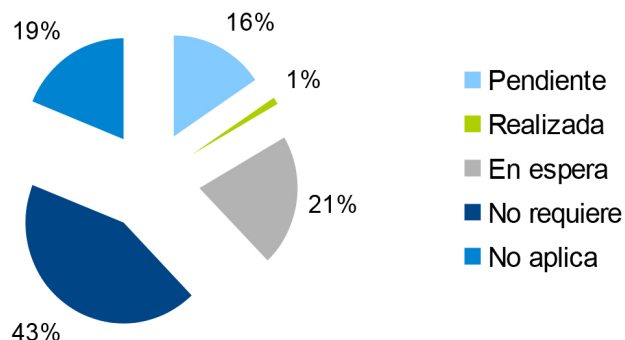
### Principales hallazgos de la revisión institucional de AyA

Las observaciones institucionales de AyA realizadas a las PTAR tramitadas vía APC se pueden enmarcar en los siguientes hallazgos:

#### Documentos

Aportar tanto la carta de compromiso del ente que se encargará de la operación y del mantenimiento de la planta de tratamiento como la carta de

**Figura N° 14**  
**Requerimientos de inspección de las PTAR tramitadas vía APC**



compromiso de la entidad que recibirá los lodos, en la cual se indique su destino final.

- El nombre y número de identificación del propietario en los diferentes documentos no coinciden con los que se indican en el Contrato de Servicios Profesionales para Consultoría, disponible en el APC.
- Aportar el permiso de paso de tuberías por propiedades públicas o privadas que no pertenezcan al propietario del proyecto.
- Aportar el estudio hidrogeológico de tránsito de contaminantes (cuando se disponga el efluente por riego o infiltración).
- Renovar el permiso de ubicación, pues se encuentra vencido.
- Presentar una certificación expedida con fecha de antes de un mes que compruebe que el desarrollador del proyecto es el propietario del terreno donde éste se construirá, o que en

su defecto está autorizado por el propietario para hacerlo. Memoria de cálculo

- Indicar todos los parámetros asumidos para la estimación del caudal de diseño (número de unidades habitacionales, hacinamiento, dotación de agua potable, factor de retorno, etc.). En caso de condominio de uso mixto, indicar los parámetros para el componente no habitacional (Ej. metros cuadrados de locales comerciales, dotación de agua potable).
- Incluir en la lista de características que debe cumplir el efluente todos los parámetros que establece el decreto No. 33601-S-MINAE, según el método de disposición de las aguas tratadas.
- Incluir diagrama de bloques o de flujo del proceso de tratamiento.
- Incluir descripción, criterios de diseño y dimensiones para todas las unidades del sistema de tratamiento, así como para sus obras conexas (sistemas de riego y de impulsión del efluente).

### **Planos constructivos**

- Mostrar la ubicación del cerramiento perimetral.
- Mostrar en las vistas que corresponda, todos los elementos que componen el sistema: vertederos, tuberías de ventilación, bombas sumergibles, cortinas de flotantes, pantallas de aquietamiento, tuberías de recirculación y purga de lodos, líneas de aire, etc.

- En el diseño de sitio, mostrar las curvas de nivel del terreno.
- Indicar diámetro y material de todas las tuberías y verificar que esta información coincida en las diferentes vistas del juego de planos.
- Presentar planta y perfil de la tubería de desfogue, detalles de pozos de registro (según la reglamentación técnica vigente de AYA) y sección típica del cuerpo receptor.
- Las dimensiones seleccionadas en la memoria de cálculo no coinciden con las que se indican en los planos constructivos.
- Indicar las características del equipo electromecánico seleccionado, o bien, su marca y modelo.
- En el espacio físico para el operador, incluir una pileta de lavado externa y una mesa para ubicar equipos e instrumentación analítica.
- En las vistas en corte, incluir referencias de nivel con respecto al terreno terminado, con base en información topográfica debidamente actualizada.

### **Manual de operación y mantenimiento**

- Incluir consideraciones de operación para todas las unidades del sistema de tratamiento, así como para sus obras conexas (sistema de riego).
- Incluir en la sección de equipo, el mínimo requerido para realizar las pruebas rutinarias que solicita el decreto No. 33601-S-MINAE:

temperatura, sólidos sedimentables, caudal y pH.

- Describir el método de medición del caudal efluente.

## **Propuesta de mejoras en la plataforma digital del APC**

### ***Implementadas***

En el campo “Fecha de Pago” de la sección de Observaciones Institucionales, se muestra la fecha en que ingresó el proyecto por primera vez. Anteriormente, esa fecha mudaba en el momento cuando el usuario ingresaba los documentos corregidos, de tal forma que se perdía el orden cronológico de ingreso de las PTAR.

- Se habilitó la opción de realizar búsquedas de proyectos por detalle de estado (observaciones sin subsanar, observaciones subsanadas, sin observaciones institucionales).
- En la sección de Requisitos Documentales, se incluyó un espacio para cargar el estudio hidrogeológico de tránsito de contaminantes y otro para la carta de compromiso del ente que se encargará de la operación y del mantenimiento de la PTAR.
- Cuando se está en el Contrato de Servicios Profesionales o en la Lista de Observaciones Institucionales y se selecciona el botón “Regresar”, el sistema vuelve a la sección de Observaciones Institucionales manteniendo los filtros de búsqueda que se utilizaron

previamente y no se devuelve a la página principal, tal y como sucedía anteriormente.

- Los documentos adjuntos por el funcionario a cargo de la revisión se mantienen en la plataforma cuando el profesional responsable subsana las observaciones. Antes, los archivos dejaban de estar disponibles para su descarga.
- Se habilitó la posibilidad de introducir espacios entre párrafos, al momento de digitar las denuncias.

### ***En proceso de implementación***

- Insistir en las capacitaciones de uso del sistema APC impartidas por el CFIA, que se seleccione correctamente el tipo de contrato según corresponda: sistema de tratamiento habitacional o sistema de tratamiento otros usos. Esto para evitar que ingresen para revisión por parte de AyA proyectos que no correspondan a urbanizaciones o condominios.
- Ampliar el protocolo de inspección de AyA para PTAR que se encuentra publicado en el sitio oficial [www.tramitesconstruccion.go.cr](http://www.tramitesconstruccion.go.cr) (Art. 18, decreto No. 36550-MP-MIVAH-SMEIC).

### ***Por implementar***

- Habilitar un filtro para consultar los proyectos que se han notificado a inspección.
- Una vez que se quiere imprimir las observaciones institucionales, permitir que éstas se desplieguen por orden de

documentos, es decir, primeramente todas las que corresponden a la memoria de cálculo, luego las de los planos constructivos, y así de la misma manera para el resto de requisitos. Actualmente, éste orden no se mantiene y las observaciones se muestran de forma aleatoria.

- Uniformar el método de tasado de los proyectos, de tal manera que en el sello de visado digital del CFIA que se incluye en los planos constructivos se muestre para todos los proyectos el área de construcción tramitada o el caudal de la PTAR. Al realizar el tasado utilizando sólo uno de los dos parámetros anteriores se posibilita dar seguimiento al indicador seleccionado para analizar su tendencia con el paso del tiempo, por ejemplo, estudiar las fluctuaciones en el monto tasado por metro cuadrado de construcción.

## Conclusiones

De un total de 90 proyectos de planta de tratamiento de aguas residuales tramitados en el período noviembre 2011 – julio 2013, se encontró que el 68% corresponden a condominios, el 50% se ubican en las provincias de San José y Heredia, en el 94% de los casos se seleccionó como tecnología de tratamiento la modificación de lodos activados con aireación extendida y el 74% descargarán su efluente en un medio receptor acuático. Además, existe una diferencia de 12% entre el número de proyectos que se encuentran aprobados en el APC y los que el AyA considera que realmente subsanaron las observaciones institucionales. El 16% de los proyectos cuentan con denuncias interpuestas por

parte de AyA y este mismo porcentaje se considera que debe ser inspeccionado.

## Recomendaciones

La entrada en funcionamiento de la plataforma digital APC para la revisión de planos para la construcción, representa una oportunidad para simplificar los trámites de permisos previos y fortalecer los procesos de fiscalización posterior por parte de las instituciones involucradas en la aprobación de proyectos.

Por lo anterior, se invita a los profesionales responsables de proyectos de construcción a que se capaciten en el uso del sistema APC y se comprometan a asumir las responsabilidades que esta nueva modalidad de trámite demanda.

Es de suma importancia que los archivos que se cargan a la plataforma correspondan a los requisitos documentales solicitados. También, el acato de las observaciones institucionales, así como la atención oportuna de las denuncias interpuestas, se pueden traducir en mayores eficiencias del proceso de aprobación, lo cual genera beneficios tanto para el administrado como para las instituciones.

El CFIA y los profesionales tramitadores también se deben sumar al proceso de identificar mejoras y comunicarlas para que puedan ser estudiadas y tomadas en cuenta en futuras modificaciones de normativa.

La implementación continua de mejoras conlleva al uso eficiente de las tecnologías de información para realizar trámites en la administración pública, y esto contribuye con la modernización del Estado.

## Referencias Bibliográficas

Costa Rica. (1999) Leyes y Decretos. Decreto No. 27967-MP-MIVAH-S-MEIC Reglamento para el Trámite de Visado de Planos para la Construcción. San José, C.R.

Costa Rica. (2003). Leyes y Decretos. Decreto No. 31545-S-MINAE Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. San José, C.R.

Costa Rica. (2007). Leyes y Decretos. Decreto No. 33601-MINAE-S Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. San José, C.R.

Costa Rica. (2011). Leyes y Decretos. Decreto No. 36550-MP-MIVAH-S-MEIC Reglamento para el Trámite de Revisión de Planos para la Construcción. San José, C.R.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2008). Acuerdo No. 2008 – 068 Trámites, requisitos y procedimientos para la aprobación de plantas de tratamiento de aguas residuales para urbanizaciones y condominios. San José, C.R.

## Anexos

Anexo N° 1 Cantidad de proyectos por provincia y cantón			
Provincia	Total	Cantón	Total
San José	30	Escazú	6
		Desamparados	1
		Goicoechea	3
		Santa Ana	12
		Vásquez de Corona	1
		Moravia	1
		Montes de Oca	1
		Curridabat	5
Alajuela	14	Alajuela	13
		Naranjo	1
Cartago	9	Paraíso	4
		La Unión	2
		Oreamuno	2
		El Guarco	1
Heredia	15	Heredia	7
		Santo Domingo	2
		San Rafael	1
		San Isidro	1
		Flores	1
		San Pablo	2
		Sarapiquí	1
Guanacaste	12	Liberia	1
		Santa Cruz	3
		Bagaces	1
		Carrillo	2
		Nandayure	5
Puntarenas	9	Puntarenas	5
		Esparza	1
		Montes de Oro	1
		Osa	1
		Aguirre	1
Limón	1	Pococi	1
<b>GRAN TOTAL</b>		<b>90</b>	



**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados**

Dirección: Calle principal, Pavas

Teléfonos: (506) 2242-5000, 2242-5001, Fax: (506) 2242-5062

Apdo. Postal: 1097-1200, Pavas, Costa Rica.

[www.aya.go.cr](http://www.aya.go.cr)

