



# INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS



## hidrogénesis



REVISTA DEL INSTITUTO COSTARRICENSE  
DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS



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



#### Consejo Editorial

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

ISSN 1659-1968

#### Integrantes del Consejo Editorial

Sonia Guevara R. Directora  
Maximiliano Pérez M.  
Elvira Guevara R.  
Héctor Feoli B.  
Sonia Murillo H.

#### Filóloga

Bach. Bernardita Vindas Solís

#### Traducción de resúmenes

Allan Sánchez Barquero

#### Diseño y Diagramación



#### Impresión Litográfica

Publicaciones AyA

#### Fotografía de portada

Jorge Soto Loría

#### Correspondencia, canje o solicitud

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados,  
Consejo Editorial, Apartado postal N. 1097-1200  
San José, C.R.

333.1 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, 2011

Semestral  
Resúmenes en inglés y español  
ISSN. 1659-1968  
Título Original: Revista Evolución

1. Hidrocarburos - Derrames.
2. Cambio Climático.
3. Tratamiento de Aguas Residuales
4. Acueducto - Jacó.
5. Balances hídricos
6. Cuencas hidrográficas.
7. Proyecto BCIE - Puerto Viejo.
8. Convenio AyA-MEP.
9. Firma Digital
10. Publicaciones Periódicas

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).

# INDICE

<b>Editorial .....</b>	<b>7</b>
La cultura del agua barata versus el valor de los servicios que presta el AyA.....	7
<b>MSc. Mauricio León Granados</b>	
<b>Sección Agua Potable .....</b>	<b>9</b>
Procedimientos en la etapa de planeación y diagnóstico ante derrames de hidrocarburos en acuíferos volcánicos en Costa Rica .....	11
<b>MSc. Sigifredo Morera Guillén</b>	
Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Limón, Costa Rica .....	28
<b>Ing. Hernán Villalobos S.</b>	
<b>Dr. Luis Carlos Vargas</b>	
<b>Ing. Alejandro Rodríguez</b>	
Estimación del factor de demanda diario de la Ciudad de Jacó durante la temporada baja, en el Pacífico Central de Costa Rica .....	39
<b>MSc. José Pablo Bonilla Valverde</b>	
Experiencia del Convenio entre el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y el Ministerio de Educación Pública ( AyA-MEP), para lograr un mejor uso del recurso hídrico en los centros educativos públicos .....	47
<b>Ing. Rolando Araya Víquez</b>	
<b>Licda. Alicia Canales Arias</b>	
<b>Sección Aguas Residuales .....</b>	<b>63</b>
Revisión de los límites de DBO y SST especificados para el agua tratada de la Primera Etapa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Los Tajos .....	65
<b>Ing. Olman Jiménez Rodríguez</b>	
Proyecciones de balances hídricos de las 34 cuencas hidrográficas de Costa Rica para el período 2071-2100 .....	72
<b>Ing. Nazareth Rojas Morales</b>	

Programa de Abastecimiento del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón .....	83
<i>Máster José Francisco Valverde Rojas</i>	
<b>Sección Gestión Ambiental .....</b>	<b>91</b>
Componente Ambiental del “Programa de Abastecimiento de Agua Potable del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón” .....	93
<i>Licda. Georgina Garro Mora</i>	
<b>Sección Gestión Administrativa .....</b>	<b>103</b>
Implementación de la firma digital certificada en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) .....	105
<i>Máster Pedro Leiva Cerdas</i>	

## EDITORIAL



<sup>1</sup> Mauricio León Granados

### La cultura del agua barata versus el valor de los servicios que presta el AyA

Hasta hace pocos años, las generaciones de costarricenses crecimos y fuimos formados bajo el principio de que los recursos naturales eran inagotables y entre ellos el agua era considerada un recurso renovable, abundante y sin ningún costo.

Lejos estaba esta premisa de la realidad aún para países como Costa Rica cuyas reservas de agua cruda superficial y subterránea, son el sueño de muchas naciones que enfrentan serios problemas de escases del recurso hídrico.

Pero ¿Cuál es el verdadero valor del agua?, ¿Por qué el servicio de acueducto ha sido tradicionalmente el más barato de todos los servicios públicos?, ¿Por qué el costarricense está dispuesto a pagar mucho más por el servicio de telefonía celular, de Internet o televisión por cable, que por los servicios de acueducto y alcantarillado sanitario?

El eslogan de que el “Agua es Vida”, refleja una profunda realidad en otros países donde anualmente miles de personas mueren o sufren enfermedades por causa de la escases del suministro de agua potable, sin embargo aquí en nuestro país el servicio de agua potable en cantidad, calidad y continuidad, en casas y comercios es algo tan habitual, cotidiano y permanente que pasa desapercibido y lo damos por un hecho casi milagroso que ahí estará por y para siempre.

Igualmente en el ámbito político, nunca escuchamos que el tema del recurso hídrico y del acceso a los servicios de acueducto y alcantarillado, sea un punto prioritario en los discursos políticos y propuestas de Planes de Gobierno de los partidos políticos, igual dan por entendido sin necesidad de hacer mayor esfuerzo, a pesar de ser el eje alrededor sobre el cual han podido levantarse las economías de las naciones del mundo entero.

En este contexto cultural es de esperar que los costarricenses, demos por un hecho que el servicio de agua potable es y deber ser siempre barato; tampoco esta interiorizado el hecho de que la materia prima que es el recurso hídrico, por estar directamente ligado a la vida tiene un valor incalculable y además las fuentes de agua prestan servicios ambientales como por ejemplo el de descargas de residuos, generación hidroeléctrica, etc. Por esa razón el valor económico-social del agua, es siempre mayor al valor comercial que se refleja en una tarifa pública, ya que no incorpora el valor de los servicios ambientales del recurso hídrico, ni tampoco incluye el costo de reposición o conservación de recurso, al menos en el caso del las tarifas que cobra actualmente el AyA.

<sup>1</sup> Economista Máster en Regulación Económica.  
 Unidad de Gestión Tarifaria. maleon@aya.go.cr.

Este balance es imposible de sostener de manera indefinida, ya que por más que cobremos a la industria, llega el momento en que los recursos tarifarios se vuelven insuficientes para hacer frente no solo a la operación y mantenimiento de los sistemas, sino también a los proyectos de inversión tan necesarios para la rehabilitación de los sistemas y el desarrollo de nuevas obras que atiendan la creciente demanda a nivel nacional.

La reciente solicitud de ajuste tarifario, aprobada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), sirvió precisamente para demostrar a las altas Autoridades de Gobierno, Defensoría de los Habitantes, y medios de prensa entre otros, que el bajo nivel tarifario en la categoría domiciliar, nos ubicaba entre las tarifas más bajas de Latinoamérica, a pesar de que los precios no guardaban relación con el costo de mantener una cobertura y calidad del servicio como el brindado por el AyA, sin darnos tampoco la oportunidad de realizar inversiones urgentes.

En términos generales la propuesta fue mantener un nivel de consumo mínimo de hasta 15 metros cúbicos al mes, a un precio subsidiado que fuera más bajo y así garantizar a las familias pobres del país, satisfacer sus necesidades básicas de agua potable.

Para consumos superiores a partir de ese nivel, la propuesta se basó en la eliminación de los subsidios en la categoría domiciliar, elevando el precio de manera que se les eliminara el subsidio del cual se apropiaban en mayor medida aquellas familias con consumos suntuosos mayores a los 40 metros cúbicos al mes, siendo niveles de consumo de familias que tienen por lo general mayores niveles de ingreso reflejados en sus hábitos de consumo.

Obviamente esta propuesta implicaba un fuerte ajuste sobre todo para el 50% de los clientes domiciliarios, además de que también se propuso un incremento significativo de la tarifa por el servicio de alcantarillado, la cual representaba apenas un 25% de la tarifa de acueducto, situación que no permite el desarrollo del tema de saneamiento y alcantarillado sanitario.

El incremento finalmente aprobado considerando además la aceptación de la apelación presentada por el AyA, sobre el tema de la restitución de la tarifa empresarial a un mayor nivel, constituyó un éxito para la Institución ya que se logró uno de los incrementos tarifarios más significativos, alcanzando un 84% de la totalidad de ingresos adicionales solicitados.

Este resultado le devuelve a los servicios que presta el AyA, gran parte del verdadero costo que implica su prestación, además le transfiere a los consumidores una señal más clara del verdadero valor de los servicios que recibe por parte de la Institución, haciendo que tengan un uso más racional de los mismos, evitando así el desperdicio y mal uso de estos.

Ahora le queda al AyA por delante una gran tarea y responsabilidad, primero para fortalecer su gestión comercial y hacer una realidad la generación de esos ingresos adicionales y además para utilizarlos de manera eficiente y eficaz, en el desarrollo de nuevas inversiones que requiere la Institución para la construcción y rehabilitación de sus sistemas de acueducto y alcantarillado.

Todos y cada uno de nosotros funcionarios del AyA, somos los que damos vida a esta Institución desde nuestros puestos de trabajo, viene una etapa institucional que nos obliga a cambiar, mi esperanza la que quiero compartir con ustedes, es que estos resultados positivos contribuyan con un repunte del AyA, en beneficio de sus funcionarios, de la Institución y del país.

Con respecto al tema del porque las tarifas que cobra el AyA, han sido tradicionalmente las más bajas con respecto al resto de servicios considerados de interés público, la explicación se encuentra en la loable, bien intencionada y solidaria decisión, pero mal instrumentada y aplicada, de suponer que estableciendo un esquema tarifario en el cual cobrándole más a la industria y comercio que representan el 7% de nuestros clientes, podemos mantener una tarifa barata para los usuarios domiciliarios que componen el 92% de la totalidad de los clientes del AyA, sin discriminar realmente quien tiene capacidad de pago, pero con la esperanza de que la familias de más escasos recursos económicos se logren beneficiar del esquema.



AGUA POTABLE

# Procedimientos en la etapa de planeación y diagnóstico ante derrames de hidrocarburos en acuíferos volcánicos en Costa Rica

## RESUMEN

En el mes de setiembre del 2004 se realizó un muestreo de rutina en el pozo AB-1089 (ver Figura N°1) situado en la Zona Franca del Barreal, provincia Heredia, distrito Ulloa, perteneciente a la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), en el que se detectó una contaminación con hidrocarburos. Este pozo se encontraba fuera de operación en el momento del monitoreo, debido a que se utiliza en verano, para abastecer de agua potable a las comunidades que tienen escasez en esa época.

Por lo anterior, se declaró como emergencia nacional, según el Decreto N°32797-MP-S en su artículo 1°: “Se declara estado de emergencia nacional la situación generada por el derrame de hidrocarburos ocurrido en el pozo de agua potable AB-1089 y en el Acuífero Colima Superior

Para determinar la procedencia de la contaminación y su avance, se creó una Comisión Interinstitucional conformada por: el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), Acueductos y Alcantarillados (AyA), Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), Ministerio de Salud (MINSAL), la Universidad de Costa Rica (UCR), el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), la Municipalidad de Belén y la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).

Según los análisis realizados a las muestras de agua del pozo AB-1089 y otros que se construyeron en los alrededores, se encontró la existencia de gasolina; en mayor cantidad diesel y se logró determinar la geometría del área afectada.



<sup>1</sup> Sigifredo Morera Guillén

Ante la inexistencia en el país de un documento para solventar este tipo de incidentes, se planteó realizar un estudio, cuyo objetivo fue elaborar un Manual de Procedimientos para Enfrentar los Efectos de Derrames de Hidrocarburos en Acuíferos Volcánicos; en las Etapas de Planeación y Diagnóstico; así como crear una propuesta de acción dirigida al enfrentamiento de los efectos ocasionados.

El insumo más importante para establecer el Manual de Procedimientos, se basó en la experiencia obtenida en el estudio de caso del pozo AB-1089, con la interacción de expertos nacionales e internacionales y con la participación activa de su autor en todo el proceso: supervisión de perforación de pozos, describiendo núcleos de perforación, realización de los estudios geofísicos (sondeos eléctricos verticales y refracción sísmica), realización de perfiles hidrogeológicos, isofreáticas, trabajo de gabinete y aportes intelectuales en las reuniones que fueron establecidas periódicamente.

**Palabras clave:** Contaminación - Hidrocarburos, Acuíferos Volcánicos - Barreal - Heredia

<sup>1</sup> MSc. Hidrogeólogo. UEN Administración de Proyectos. smorera@aya.go.cr.

## ABSTRACT

In September of 2004, a routine sampling at the well AB-1089 (see Figures No. 1 and No. 2) located in the Free Zone of Barreal, Province Heredia, district Ulloa, belonging to the Public Service Company of Heredia (ESPH), in which hydrocarbon contamination detected this well was out of service at the time of monitoring, because it is used in summer to supply drinking water to communities that have a shortage at that time.

Therefore, it was declared a national emergency, according to Decree No. 32797-MP-S in its Article 1: "It is declared national emergency the situation caused by the oil spill occurred in the drinking water well-AB 1089 and in the aquifer Colima Superior

To determine the source of contamination and progress, created an interagency commission composed of: the National Groundwater, Irrigation and Drainage (SENARA), Aqueducts and Sewers (AyA), Public Service Company of Heredia (ESPH) Ministry of Health, the University of Costa Rica (UCR), the Ministry of Environment, Energy and Telecommunications (MINAET), the City of Bethlehem and the Costa Rican Oil Refinery (RECOPE).

According to the analyzes of well water samples AB-1089 and others that were built around, found the existence of gasoline and diesel in most were able to determine the geometry of the affected area.

In the absence in the country of a document to address such incidents, a study was proposed, whose goal was to develop a Procedures Manual to Fight the Effects of Oil Spills in volcanic aquifers, in the planning stages and Diagnosis as well as create a proposal for action aimed at confronting the effects caused.

The most important input to establish the Procedures Manual, was based on the experience gained in the case study of the well AB-1089, with the interaction of national and international experts and with the active participation of the author in the whole process: monitoring Drilling, describing core drilling, conducting geophysical surveys (vertical electrical soundings and seismic refraction), conducting hydrogeological profiles,

isofreáticas, desk work and intellectual contributions in meetings that were established periodically.

**Keywords:** Pollution - Oil - Aquifer - volcanic aquifers - Barreal - Heredia

## INTRODUCCION

El suministro de agua potable en América Central depende en gran parte del recurso subterráneo, pues más del cincuenta por ciento del agua proviene de esas fuentes (Losilla et al., 2001; Arredondo, 2008).

Las rocas volcánicas en el área centroamericana tienen gran importancia debido a que son buenas formadoras de acuíferos y constituyen una parte importante del abastecimiento público en las ciudades con mayor población (Losilla et al., 2001; Bethune et al., 2007).

El Valle Central de Costa Rica se caracteriza por la presencia de acuíferos, en su mayor parte en rocas volcánicas fracturadas e intercaladas entre sí, localizados entre capas menos productoras de agua, denominadas acuitardos (BGS-SENARA, 1985). Estos acuíferos son los más importantes, no sólo por la extensión, sino por las características propias del agua, su recarga y la cantidad de población a la que abastecen (Chaves y Morera, 2004).

Mucha del agua utilizada en los hogares ha tardado más de veinte años en llegar a almacenarse en los acuíferos, según los datos basados en los análisis de Tritio (un Isótopo de Hidrógeno, el T o 3H), que se reportan en la Investigación Hidrogeológica del Valle Central realizada por el SENARA en el año 1987.

También existen acuíferos de recarga local, como los de las zonas costeras, donde la constitución litológica (tipo de roca) que los forman tienen una permeabilidad muy alta, lo cual favorece la infiltración. Así, después de los períodos de lluvia se puede determinar cómo los niveles freáticos en los pozos muestran un ascenso en periodos de días a semanas, lo que indica que la recarga es muy directa, pues rápidamente la lluvia se refleja en el ascenso del nivel de los pozos.

En Costa Rica han sucedido derrames de combustibles, pero no existen documentos que revelen con datos reales, que se hayan provocado daños a algún acuífero. Dentro de los reportes más relevantes se tienen:

a) En el año 2005, en Lagunilla de Heredia, cerca del cementerio Jardines del Recuerdo, se produjo un derrame de combustible debido a la ruptura del poliducto de Recope que fue provocada por maquinaria que estaba realizando reparaciones en la carretera.

b) El propietario de un terreno en Barreal de Heredia, (comunicación personal), mencionó sin precisar la fecha, que años atrás, ocurrió un derrame en una finca de su propiedad cuando se estaba construyendo el Poliducto de RECOPE. Al parecer, por descuido, cuando se estaba probando la conducción, hacía falta de un tramo de tubería y se dio una fuga de combustible por un tiempo no determinado.

c) En abril del año 2003, se presentó una contaminación por diésel en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del AyA, ubicada en Guadalupe de Goicoechea.

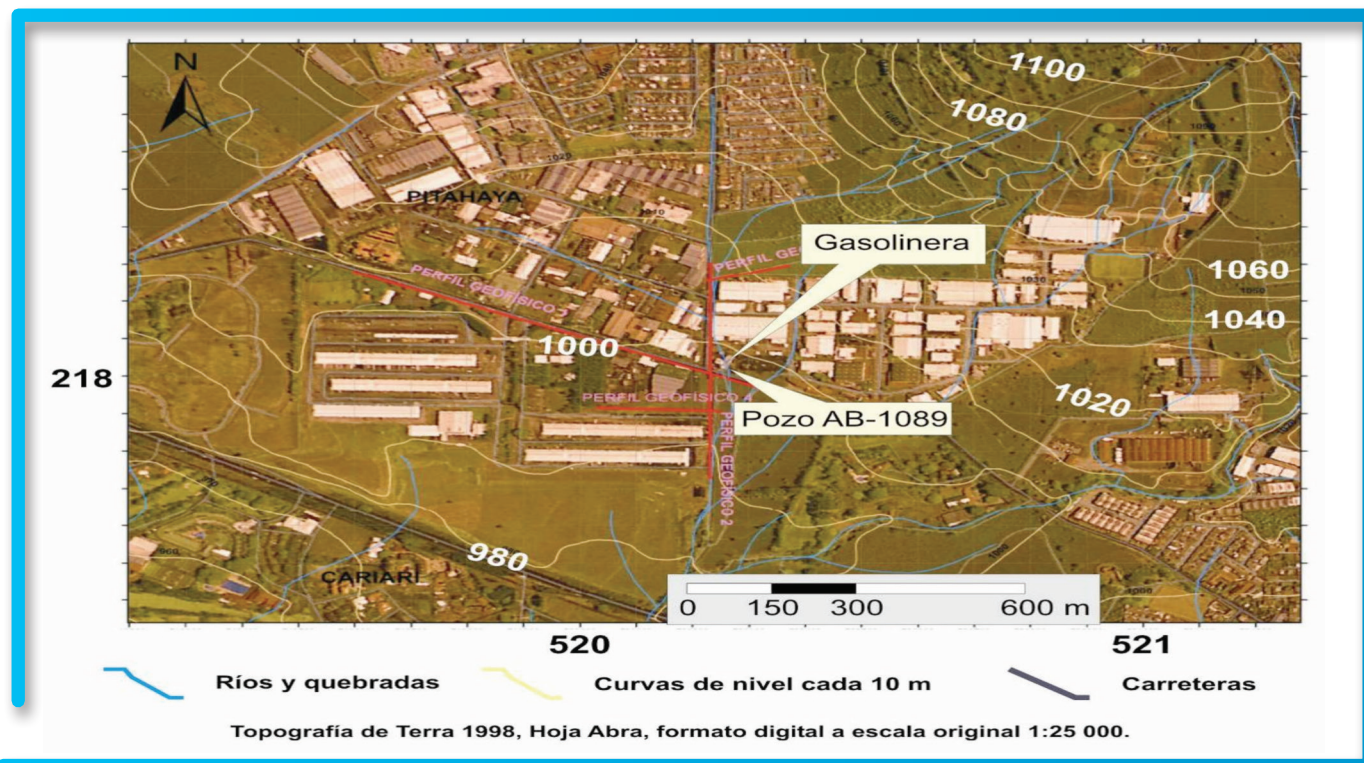
d) En un expediente de la Defensoría de los Habitantes (N°22396-23-2006-IO-CV/13780-2007-SIm emitido el 27 de noviembre del 2007), se menciona una fuga de combustible en los tanques de la Gasolinera Total, ubicada en Alajuelita que provocó la evacuación de nueve familias de la Urbanización Chorotega.

En este mismo informe se menciona la explosión que causó un conductor en noviembre del año 2006, al derribar el surtidor de una gasolinera cuando puso en marcha el auto con la manguera de la gasolina puesta en el tanque.

El agua que se utiliza para consumo humano en el Valle Central se ha visto expuesta a contaminaciones de diversa índole y magnitud (Reynolds, 2002). Por ejemplo, el riego y los agroquímicos que se utilizan para la siembra, son generalmente focos de contaminación a pequeño, mediano y largo plazo; los tanques sépticos sobre todo, cuando el nivel del agua es muy somero y la permeabilidad de los suelos es alta, algunos metales pesados utilizados en procesos industriales de artículos electrónicos; los solventes y algunos productos organoclorados.

Las estaciones de servicio o gasolineras, tanques de autoconsumo y refinerías, constituyen otra fuente potencial de contaminación, con el agravante que su contenido en el agua debe ser muy bajo para que el ser humano pueda tolerarla; por lo que los valores de concentración para algunos elementos suele ser de partes por billón (p.p.b. aunque en realidad es partes por miles de millón) que se puede ejemplificar como depositar una gota de contaminante en cincuenta barriles de agua.

**Figura No. 1**  
**Ubicación del pozo AB-1089**



## Materiales y métodos

Una vez que se determinó la presencia de hidrocarburos en el pozo AB-1089 y con la presencia de representantes de las instituciones citadas inicialmente (sin haberse formado propiamente la Comisión Interinstitucional) se procedió a solicitar la colaboración del Laboratorio Ceqiatec del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), se contrataron los laboratorios Lambda y San Martín, para que determinaran cuál o cuáles hidrocarburos estaban presentes en el pozo.

Debido a que los primeros análisis realizados tanto al pozo en mención como a otros perforados en la gasolinera, tomaron en cuenta al hidrocarburo total y no se sabía cuáles eran los valores de algunos elementos particulares (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos e hidrocarburos poliaromáticos, y metil-t-butil éter o MTBE), se determinó que era fundamental realizar los análisis llamados Marcha de Hidrocarburos, pues algunos de estos elementos tienen valores que sobrepasan las normas establecidas como máximas permisibles en agua para consumo humano.

Paralelamente se procedió a realizar un levantamiento de campo de todas aquellas empresas que utilizaban tanques de autoconsumo (diesel o gasolina) en los sitios que se encontraban en los alrededores del pozo AB-1089; a su vez se procedió a levantar la losa de concreto de la estación gasolinera que se encuentra contiguo al pozo contaminado con el fin de establecer el origen de la fuente contaminante.

Cuando se determinó el tipo de hidrocarburo se procedió inicialmente a verter éste a la Quebrada Guaría, pues la ley contempla que se pueden verter a cuerpos de agua hasta 30 miligramos por litro.

En Costa Rica, los reglamentos no contemplan los valores máximos permisibles en el agua para consumo humano, una Subcomisión de Química en el año 2006, propuso un cuadro para uso interno donde se muestran valores, criterios y acciones, así como instituciones responsables, ante eventos de derrames.

**Cuadro No. 1**  
**Valores de concentraciones de hidrocarburos para agua potable, propuestos**  
**por la Subcomisión de Química (2006) a raíz de la contaminación del pozo AB-1089**

Concentración hidrocarburos totales (ppb)	Significado (según normas internacionales)	Criterios y acciones recomendadas en Costa Rica	Responsable
< 10 ppb	Cumple con las normas europeas, agua segura para Consumo humano	Se continúa abastecimiento público	Comisión Interinstitucional  Operadores de fuente o acueducto
11-25 ppb	Agua de buena calidad. De acuerdo con la norma estadounidense no afecta la salud. Criterio de aceptación para remediación	Se continúa abastecimiento público. Se inicia estudio para ubicar el origen de hidrocarburos. Se implementa la red de vigilancia en pozos aledaños para hidrocarburos totales. Vigilancia de la calidad del agua y estudios del agua y estudios hidrogeológicos	Comisión Interinstitucional  Ministerio de Salud  Operador de fuente o acueducto
26-50 ppb	Deben tomarse acciones protectoras, cumple normas estadounidenses	Vigilancia del olor y sabor del agua. Muestreo de sustancias específicas (BTEX y PAHs) en aguas. Según resultados de olor/sabor y de sustancias específicas se tomaran medidas preventivas sobre el abastecimiento y búsqueda de fuente alterna	Comisión Interinstitucional  Operador de fuente o acueducto
51-100 ppb	Deben tomarse acciones remediales, incumple normas estadounidenses	Clausura de Fuentes de Agua, uso de fuentes alternas o tratamiento de agua para suplir a menos de 25 ppb. Comisión Interinstitucional Operador de Fuente o Acueducto Comisión Interinstitucional Se mantienen muestreos programados de sustancias específicas. Remediación del suelo en el punto de origen de la contaminación. Acciones legales. Remediación de aguas en puntos cercanos a fuentes de contaminación	Comisión Interinstitucional  Operador de fuente o acueducto  Comunidad y operadores

Concentración hidrocarburos totales (ppb)	Significado (según normas internacionales)	Criterios y acciones recomendadas en Costa Rica	Responsable
101-150 ppb	Deben tomarse acciones remediales, incumple normas estadounidenses (olor o sabor perceptible)	Si se detecta por los usuarios se procede a realizar inspecciones detalladas y muestreos. Notificación a instituciones operadoras, clausura de Fuentes de Agua, alternas o tratamiento para suplir a menos de 25 ppb. Remediación de suelos por contaminación. Remediación de aguas en puntos cercanos a la contaminación	Comunidad y Comisión Interinstitucional
> 150 ppb	Acciones de EMERGENCIA en el punto de contaminación y área afectada	Se suspende abastecimiento, acciones legales, muestreos programados	Comisión Interinstitucional

Por otra parte, con los datos obtenidos de descripciones litológicas de pozos perforados en la zona de interés, se realizaron perfiles geológicos, isofreáticas, se hizo uso de perforaciones de pozos realizadas con sacanúcleos, con perforación por el Método de Rotación y por el Método de Percusión, que sirvieron para establecer parte del Modelo Hidrogeológico; con estos perfiles se pueden determinar los espesores de los materiales volcánicos existentes y se corrobora el tipo de litología presente en área de influencia directa del estudio.

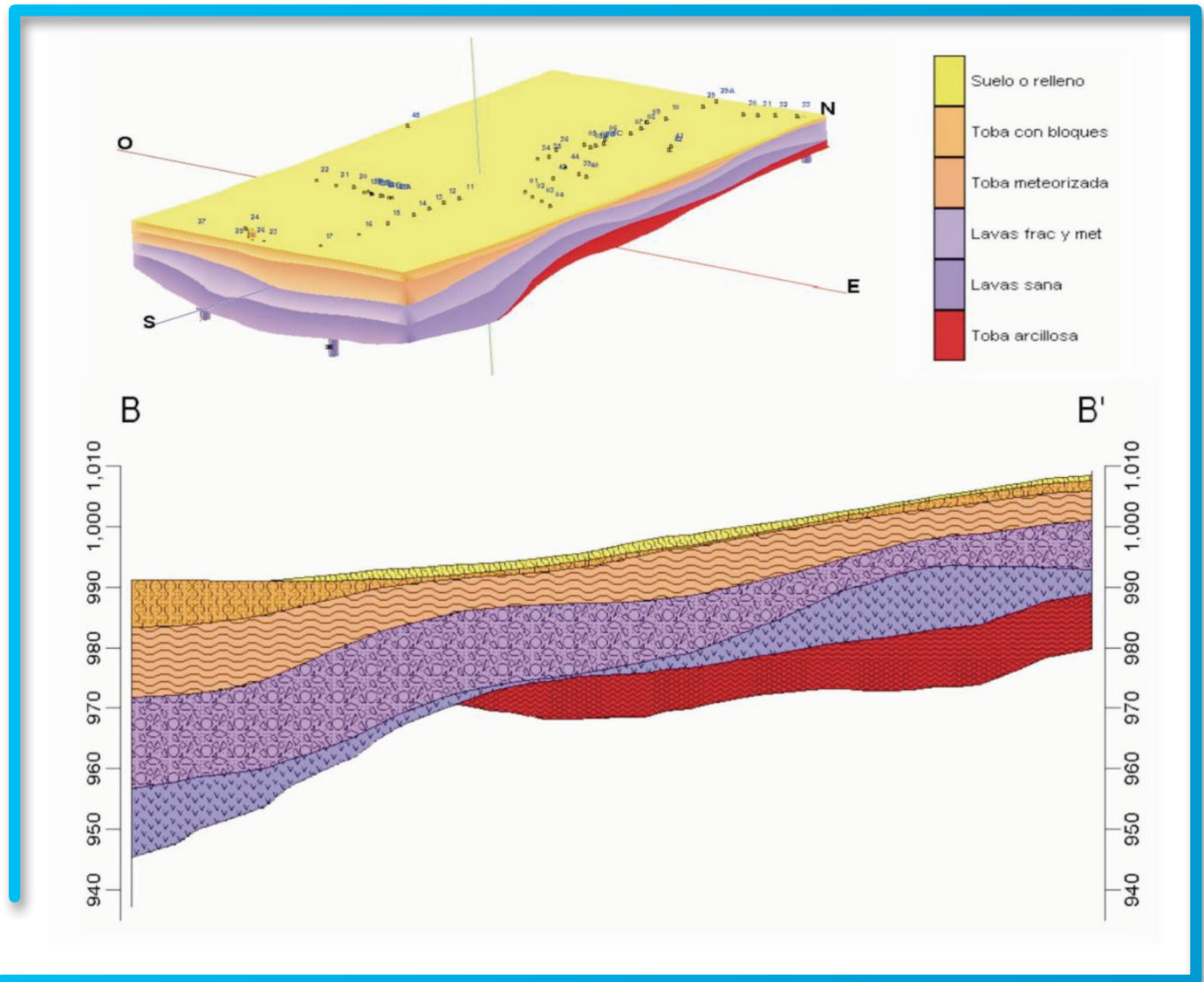
La capa rojiza “calcinada” impide que el hidrocarburo se esté fugando hasta niveles inferiores. Se perforaron pozos fuera de la estación gasolinera con el fin de captar la capa impermeable para ser utilizada como sitio de muestreo de aguas para determinar la presencia de hidrocarburos, lo cual sirvió de soporte para la correlación de los sondeos eléctricos verticales y el modelo geofísico propuesto respecto a la delimitación de la pluma de contaminación.

## Resultados

Basado en la descripción de los núcleos de perforación se determinó la presencia de un paleosuelo “color rojizo”, que es impermeable y bastante plástico, la distribución espacial de esta capa se estableció parcialmente, mediante otras perforaciones que realizó el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y con sondeos eléctricos verticales. (Figura 2)

**Figura No. 2**

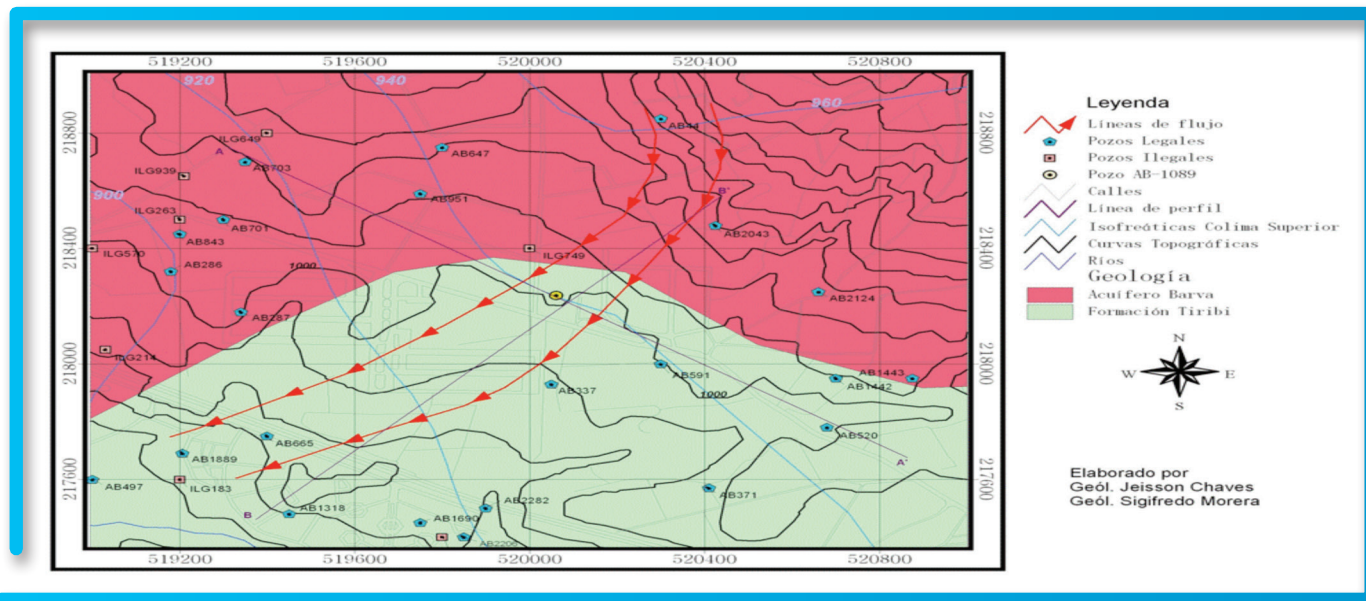
**Interpretación geológica a través de los SEV con base en el perfil B-B' es casi norte-sur y muestra las unidades de la Formación Barva, con tobas superiores, lavas, una toba arcillosa con paleosuelo. (Redibujada a partir de figuras en GeoStratu Consultores S.A., 2006)**



Aunque en la zona existían isofreáticas, que se encuentran en el Mapa Hidrogeológico del Valle Central, realizado en 1985 por el British Geological Survey (BGS) y SENARA, se corroboró que no existiera un cambio en

éstas debido a una sobreexplotación de pozos, éstas se habían construido 20 años antes, lo cual pudo haber causado un cambio de orientación al menos parcial, pero no existió. (Figura N°3).

**Figura No. 3**  
**Mapa hidrogeológico de la zona en estudio**



De la gestión inicial de convocar instituciones luego de haberse identificado la contaminación del pozo AB-1089; se estableció una Comisión permanente relacionada con estudio de casos de contaminación por hidrocarburos; se propone que esté liderada por el Ministerio de Salud e incorporar al AyA u otra institución que esté relacionada con la operación y distribución del agua potable. A SENARA le corresponde velar por la cantidad y calidad del agua subterránea; RECOPE que tiene una relación directa con el manejo y suministro de hidrocarburos, el Cuerpo de bomberos, institución que acude a la brevedad ante situaciones de derrames de hidrocarburos u otro elemento o producto y al MINAET y las instituciones involucradas con la responsabilidad legal.

El número de perforaciones pudo haber sido menor a las diecisiete realizadas. Por consiguiente, se tiene criterio para determinar con mayor precisión el número de perforaciones que se deben realizar ante un derrame de hidrocarburos, así como su eventual correlación con sondeos eléctricos verticales que tienen un costo monetario mucho menor.

En zonas donde existe gran cantidad de pozos e isofreáticas construidas, debe realizarse como acción de rutina, una verificación de la orientación de éstas, que implícitamente variaría la dirección del flujo subterráneo.

Se propone que el cuadro N°1, debe de presentarse como propuesta para derrames, pues aunque fue presentado para uso interno de la Comisión Interinstitucional, debe ser analizado y discutido a niveles de mando superiores, para que pueda elevarse a reglamento y pueda ser normado e incorporarlo vía decreto en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

En el estudio se determinó que en Costa Rica no existen límites máximos permisibles de hidrocarburos en el suelo, por lo cual se creó una comisión encargada de redactar un Reglamento; sin embargo, según comunicación personal con el Ingeniero Ricardo Morales, funcionario del Ministerio de Salud (MINS), aún se está trabajando en esto.

El proceso de las etapas a saber conlleva :

### Etapa de planeación

Conformar una Comisión Interinstitucional permanente que tenga reuniones periódicas cuya frecuencia se deberá definir (dependiendo de la gravedad de la crisis puede ser sesión permanente o a lo sumo una vez por semana), ésta debe estar integrada por aquellas instituciones gubernamentales y privadas que estén directamente relacionadas con el manejo, protección y suministro de agua potable, para aprovechar aquellas ventajas comparativas que tenga cada una de ellas y agilizar los estudios y trabajos de campo que deben llevarse a cabo.

Cuando exista una institución no gubernamental que sea operadora del recurso hídrico, como por ejemplo la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), ésta deberá apoyar a la Comisión en todo el proceso de diagnóstico y los posteriores hasta concluir con el de remediación.

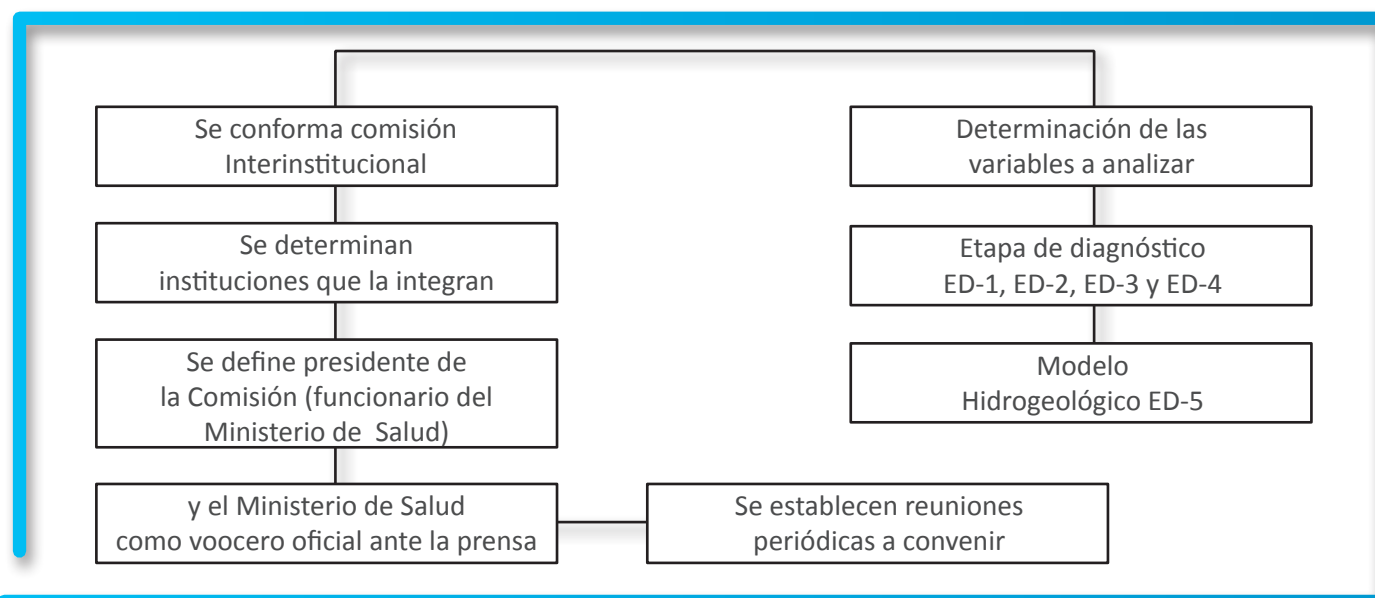
Una vez que se descubra el evento o derrame, se comunicará al Cuerpo de bomberos para que realice una visita con el fin de identificar el tipo de contaminante

que fue derramado en el suelo; al Ministerio de Salud que presidirá la Comisión Interinstitucional para que convoque a una reunión donde se analizará la magnitud del evento. Se debe notificar al Organismo de Investigación Judicial (OIJ) y al Tribunal Ambiental para que realicen las primeras investigaciones en el sitio del derrame.

El Ministerio de Salud será la institución vocera que informe oficialmente a los medios televisivos, radiales y escritos acerca de los incidentes relacionados con los derrames de hidrocarburos que se presenten en el territorio nacional. Este Ministerio será el que comunique a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), a los bomberos, SENARA, AyA, Organismo de Investigación Judicial (OIJ), RECOPE y al Tribunal Ambiental sobre el suceso.

A continuación se presenta el funciograma de la Etapa de Planeación en la (Figura N°4), donde se incluye la creación de la Comisión Interinstitucional y el Modelo Hidrogeológico Conceptual, además las variables que serán analizadas en las etapas de diagnóstico y actividades conexas que se deben llevar a cabo para tener un panorama claro de la contaminación y sus alcances.

**Figura No. 4**  
**Funciograma Etapa de Planeación**

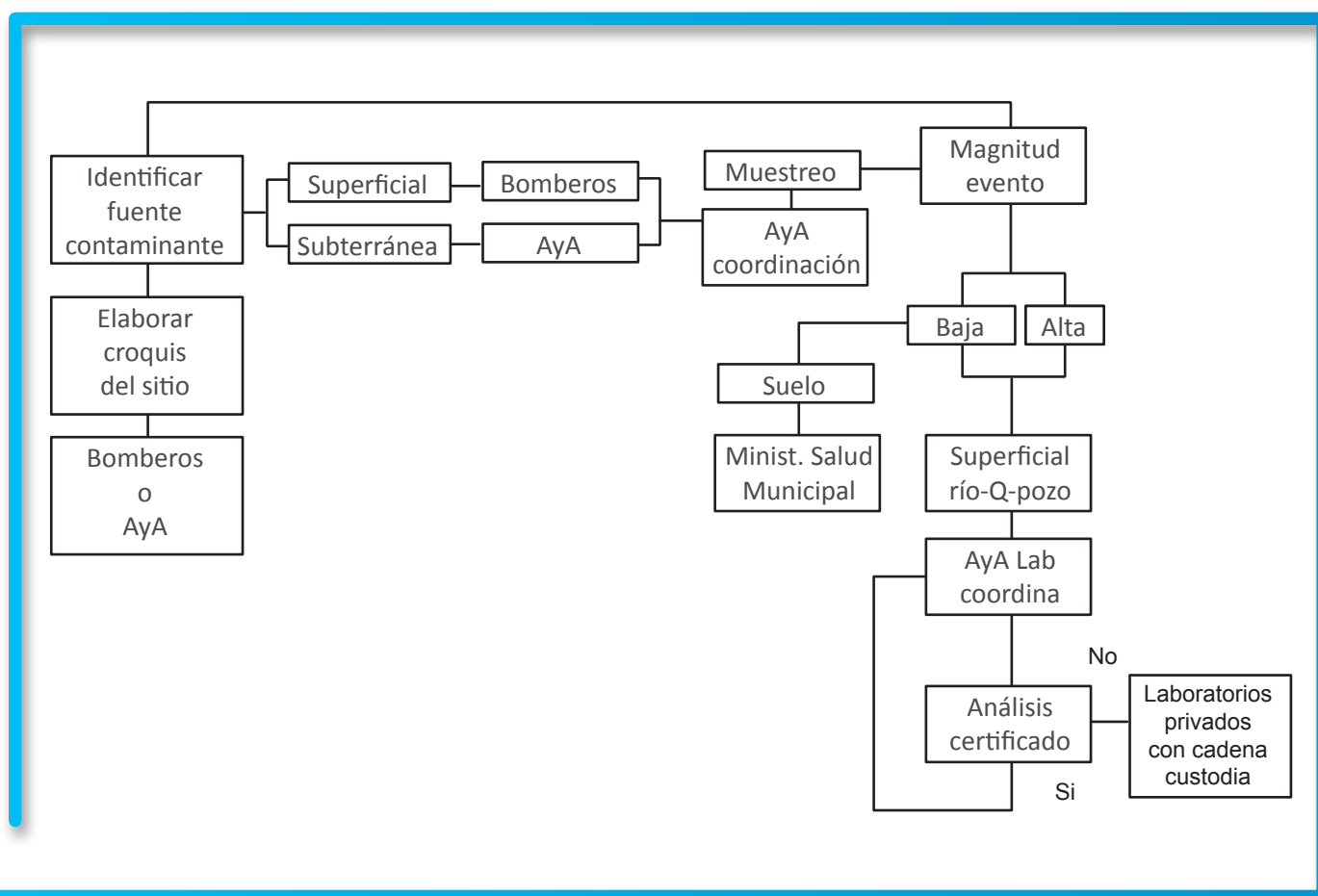


En los Funciogramas o Diagramas de Flujo, se detallan las actividades a realizar en forma esquemática, así como a las instituciones del estado que se propone se involucren en el proceso investigativo cuando ocurra un derrame de hidrocarburos. No se omite manifestar que el punto de partida en el diagnóstico es la identificación del sitio del derrame, el cual puede aparecer en la superficie, lo cual facilita la identificación de éste así

como una remediación que puede ser inmediata; sin embargo, cuando no se pueda visualizar porque aparece por ejemplo en un pozo, la labor investigativa se puede complicar, pero esto no impide que paralelamente se puedan ir realizando otras acciones.

En el funciograma (Figura N° 5) se puede observar el proceso de identificación de la fuente contaminante.

**Figura No. 5**  
**Funciograma Etapa Diagnóstico Inicial**

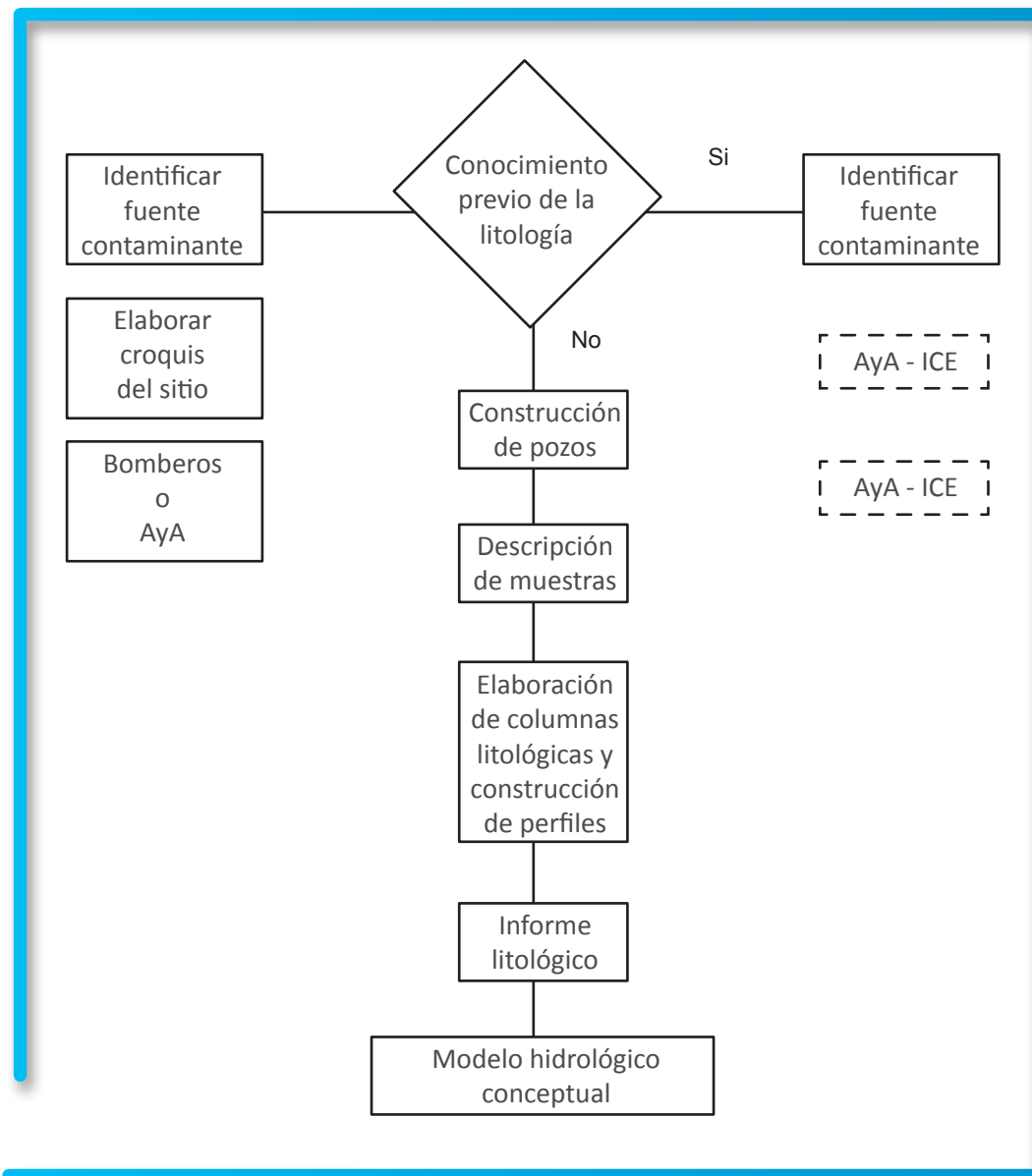


La determinación del tipo de roca o litología, que se encuentre en el subsuelo le corresponderá al AyA y al SENARA; para lograr su objetivo podrán utilizar entre otros recursos, descripciones de muestras de perforaciones realizadas cerca del lugar donde se llevó a cabo el derrame de hidrocarburos, análisis de

muestras de perforaciones construidas en el sitio, mapas geológicos existentes o mediante reconocimientos geológicos de campo.

En el funciograma (Figura N° 6) se pueden observar los pasos a seguir para identificar esta variable.

**Figura No. 6**  
**Funciograma Etapa Diagnóstico Variable "A"**

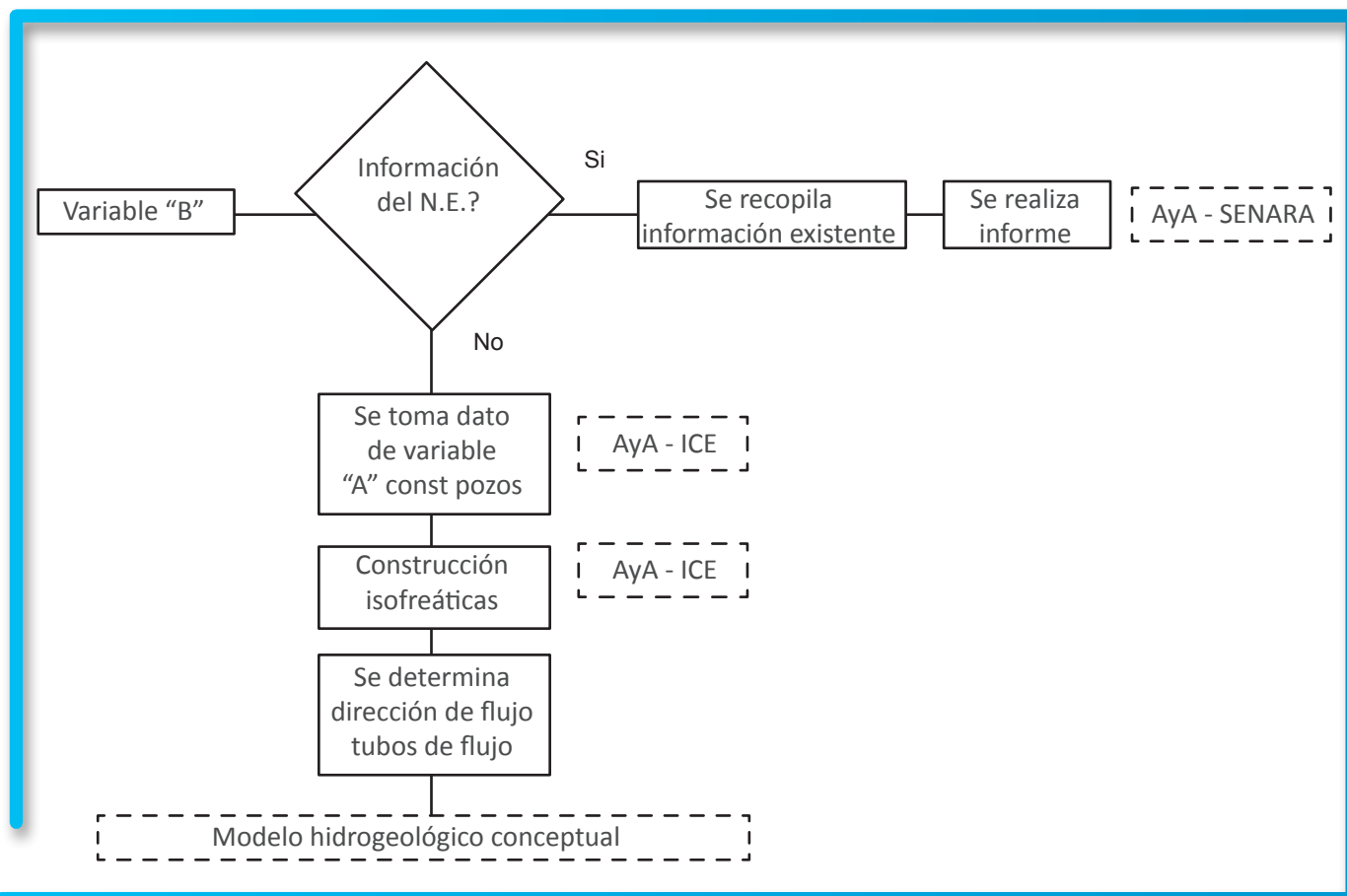


El SENARA y el AyA, aportaran de sus archivos de pozos los valores que tengan reportados de profundidad del nivel freático, y se reunirán cuando existan dudas sobre los mismos. (Elaboración de isofreáticas y determinación de la dirección de flujo del agua subterránea), elaboración de la red de monitoreo y realización de sondeos eléctricos verticales. De esta variable se liga directamente la elaboración de las isofreáticas, así como la determinación de la dirección de flujo del agua subterránea, además será un insumo importante para determinar la red de monitoreo.

El nivel del agua está directamente relacionado con la probabilidad de contaminación de los acuíferos.

En el funciograma (Figura N° 7) se pueden observar los pasos a seguir para determinar esta variable, que es parte fundamental para determinar la elaboración de las isofreáticas y de la red de monitoreo.

**Figura No. 7**  
**Funciograma Etapa de Diagnóstico Variable "B"**



Una vez que se determinen los niveles freáticos, el AyA o el SENARA, según acuerdo entre ellos elaborarán las líneas las isofreáticas y a su vez definirán la dirección de flujo del agua subterránea.

Se debe establecer una red de monitoreo para llevar un control de la fluctuación del nivel freático, así como para realizar muestreos de la calidad del agua e identificar el eventual contenido de hidrocarburos. Este proceso proseguirá (cuando exista contaminación) hasta que dejen de aparecer evidencias de contaminación, cuando el agua que se toma del acuífero es administrada por una institución que no sea el AyA como por ejemplo la ESPH, esta institución deberá involucrarse al proceso investigativo, de monitoreo y seguimiento.

El AyA elaborará la Red de Monitoreo de Pozos y podrá discutirlo con funcionarios del SENARA, la elección de los pozos a monitorear y la extracción de las muestras a analizar, deberán ser realizadas por profesionales con experiencia; basados en la dirección del flujo del agua, los pozos existentes, así como aquellos que se hayan perforado en el proceso investigativo.

Se debe contemplar la posibilidad de utilizar la geofísica, como un instrumento útil, pues mediante el uso de sondeos eléctricos verticales y refracción sísmica se pueden determinar resistividades y velocidades de las ondas a través de los materiales que se encuentran en el subsuelo que para el caso de derrames de hidrocarburos son muy importantes, sobre todo cuando el derrame se produjo meses después, pues se ha comprobado que los valores obtenidos de los métodos geofísicos son anormales.

Estos sondeos deberán ser realizados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), aprovechando la experiencia de su personal y el equipo con que cuentan, esta actividad constituye una herramienta importante, que puede ser utilizada para determinar espesores de rocas y valores de resistividades anómalas.

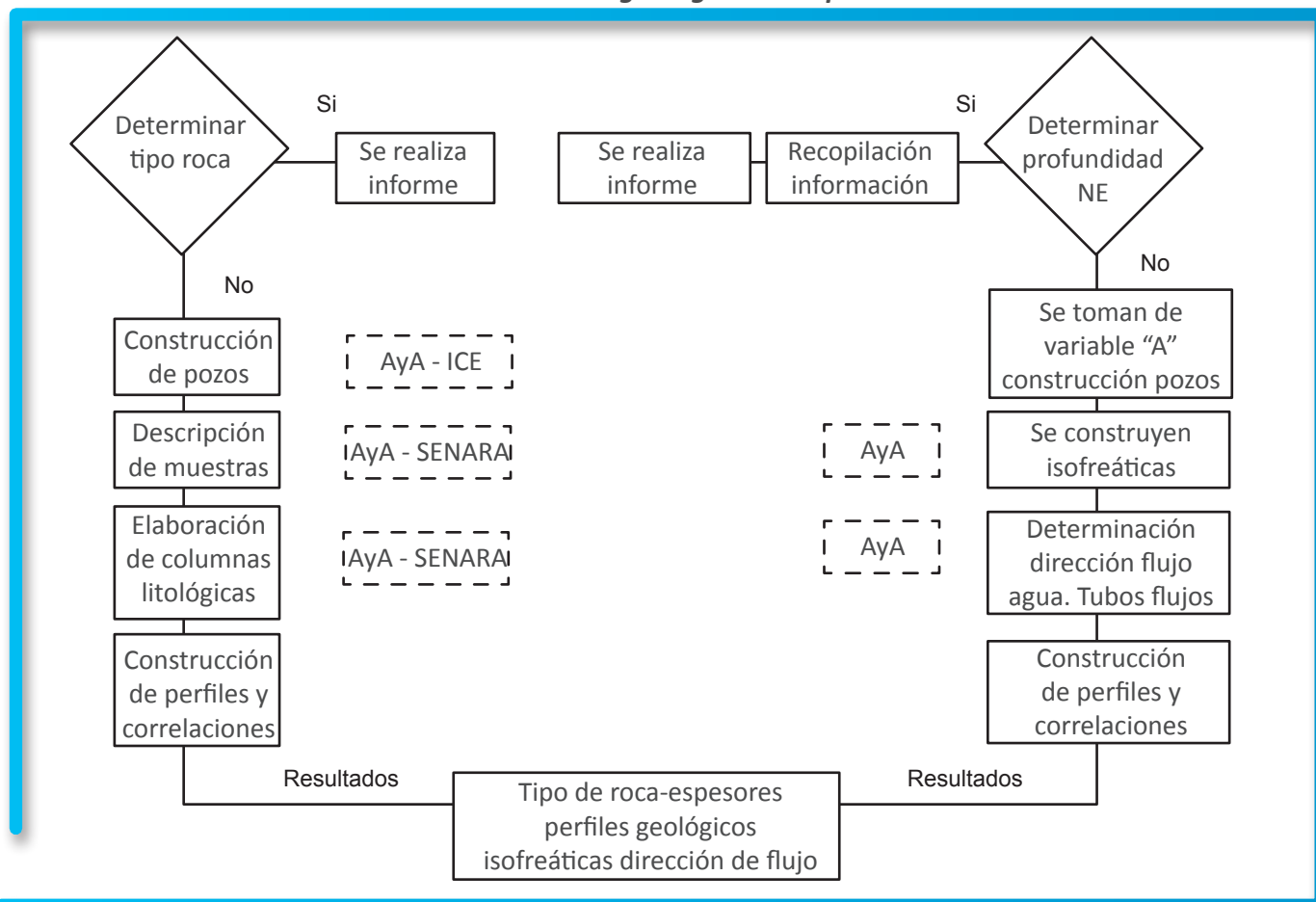
Con la información obtenida de perforaciones existentes o realizadas en el proceso investigativo y las descripciones litológicas de pozos existentes, se realizan perfiles que sirven de correlación, como parte fundamental para la determinación del Modelo conceptual.

El Modelo Hidrogeológico Conceptual (Figura N°8), tendrá como base el estudio hidrogeológico, este modelo describirá el o los acuíferos existentes, la profundidad del nivel freático, el tipo de rocas que lo conforman, las formaciones geológicas a las que pertenecen, las líneas equipotenciales o isofreáticas y la dirección del flujo de agua. De no existir suficiente información de pozos con descripción litológica le corresponderá al AyA y al ICE la perforación de piezómetros o pozos investigativos, los cuales sustentarán el Modelo Hidrogeológico Conceptual.

Este modelo lo hará SENARA, pero también podrán incorporarse para el análisis y discusión los geólogos de la Dirección de Gestión Ambiental del AyA, así como eventualmente la Sección de Hidrogeología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Como personal de apoyo en el estudio, deberá estar involucrada directamente aquella institución gubernamental o privada que esté relacionada con el manejo del recurso hídrico, en la zona del derrame, llámese AyA (Dirección de Gestión Ambiental), ESPH u otra entidad que vele por el suministro de agua potable, en el caso de que exista en la zona del incidente. La presencia de la parte académica y en este caso particular el de la Universidad de Costa Rica, representada por la Escuela Centroamericana de Geología, será sumamente importante por su carácter académico, cuya participación le dará un mayor peso científico y además fungirá como asesor, consultor y participante activo en las labores que se lleven a cabo.

**Figura No. 8**  
**Funciograma Etapa de Diagnóstico**  
**Modelo Hidrogeológico Conceptual**



Le corresponderá al AyA y concretamente al Laboratorio Nacional de Aguas de esta institución, si está dentro de su alcance, determinar cuáles son los hidrocarburos presentes en la zona del derrame; de no poder realizarse estos análisis por no existir los procedimientos o la certificación de análisis de los hidrocarburos, se procederá a realizar los análisis en un laboratorio que los tenga certificados, ya sea dentro o fuera del país. El AyA será la institución encargada de velar porque la recolección de las muestras sea precisa y que cumpla con todos los requisitos existentes para este fin.

Las muestras deben ser analizadas por laboratorios que tengan certificados los análisis de los hidrocarburos. Donde destacan los BETEX (benceno, etilbenceno, tolueno, etileno y xileno) y además los HPA (Hidrocarburos

Poliaromáticos), y el MTBE (METILEBUTILETER). Es de suma importancia cuantificar los hidrocarburos en suelos y agua según la cantidad de carbonos respecto a sus rangos. Por ejemplo, para los carbonos C6-C10 se acostumbra utilizar GRO (Gasolina Range Organics) mientras DRO (Diesel Range Organics) para los carbonos C16-C34 y C34-C50 (Comunicación personal del Ing. Ricardo Morales, presidente la Comisión Interinstitucional para el caso pozo AB-1089, 2006).

La certificación de los análisis es un punto fundamental, debido a que siempre se debe buscar quién es el o los culpables del derrame y así determinar quién cubrirá los costos de la remediación.

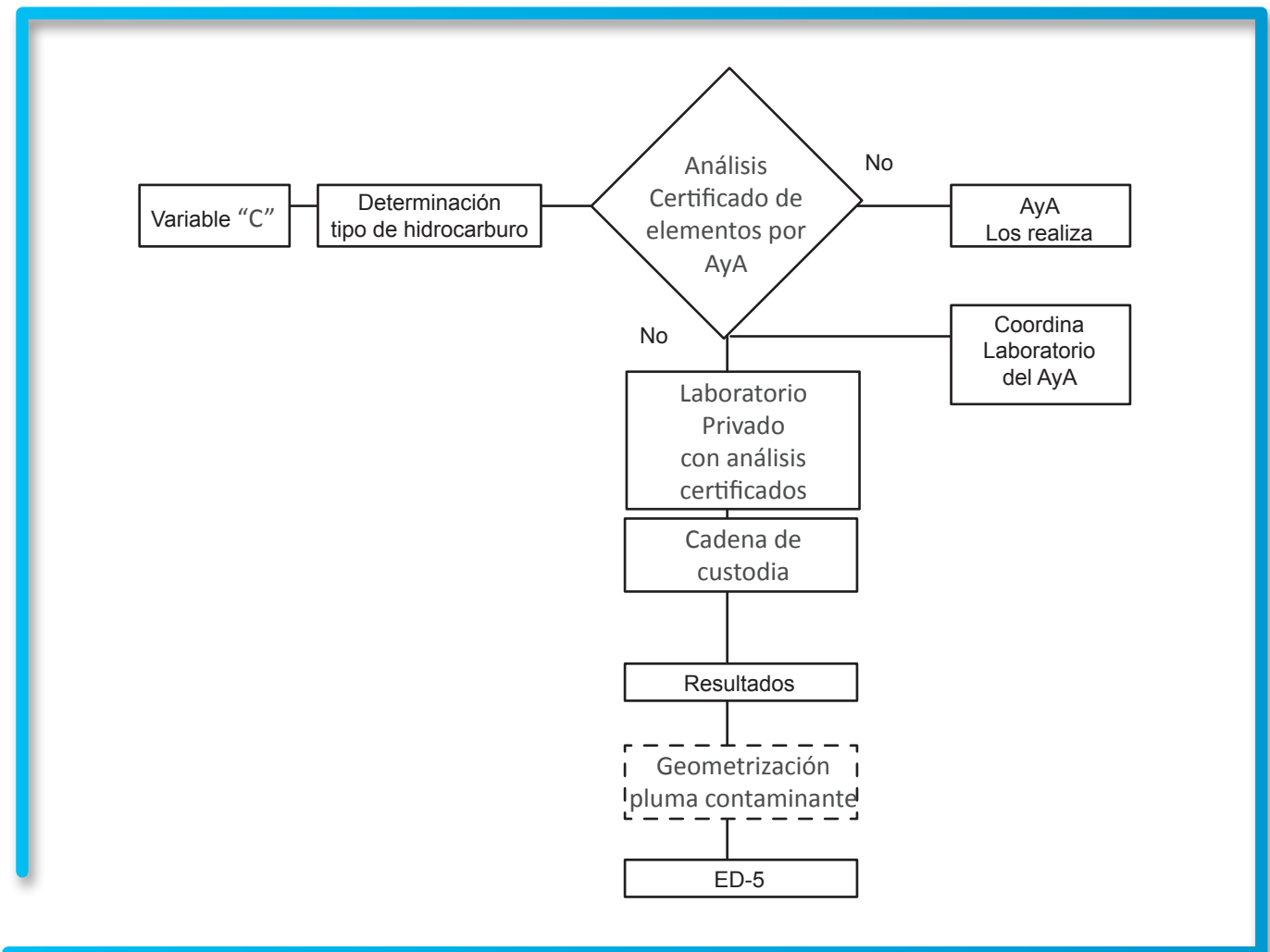
Se aplicarán las técnicas que son utilizadas por los químicos, para controlar y verificar los resultados de los laboratorios, utilizando muestras en blanco, muestras de control, así como muestras con cantidad de elementos conocidos, por lo cual deberán ser enviadas a más de un laboratorio.

Cuando existen derrames, deben analizarse los BTEX, los poliaromáticos y los hidrocarburos totales. De no existir laboratorios con análisis certificados, los laboratorios

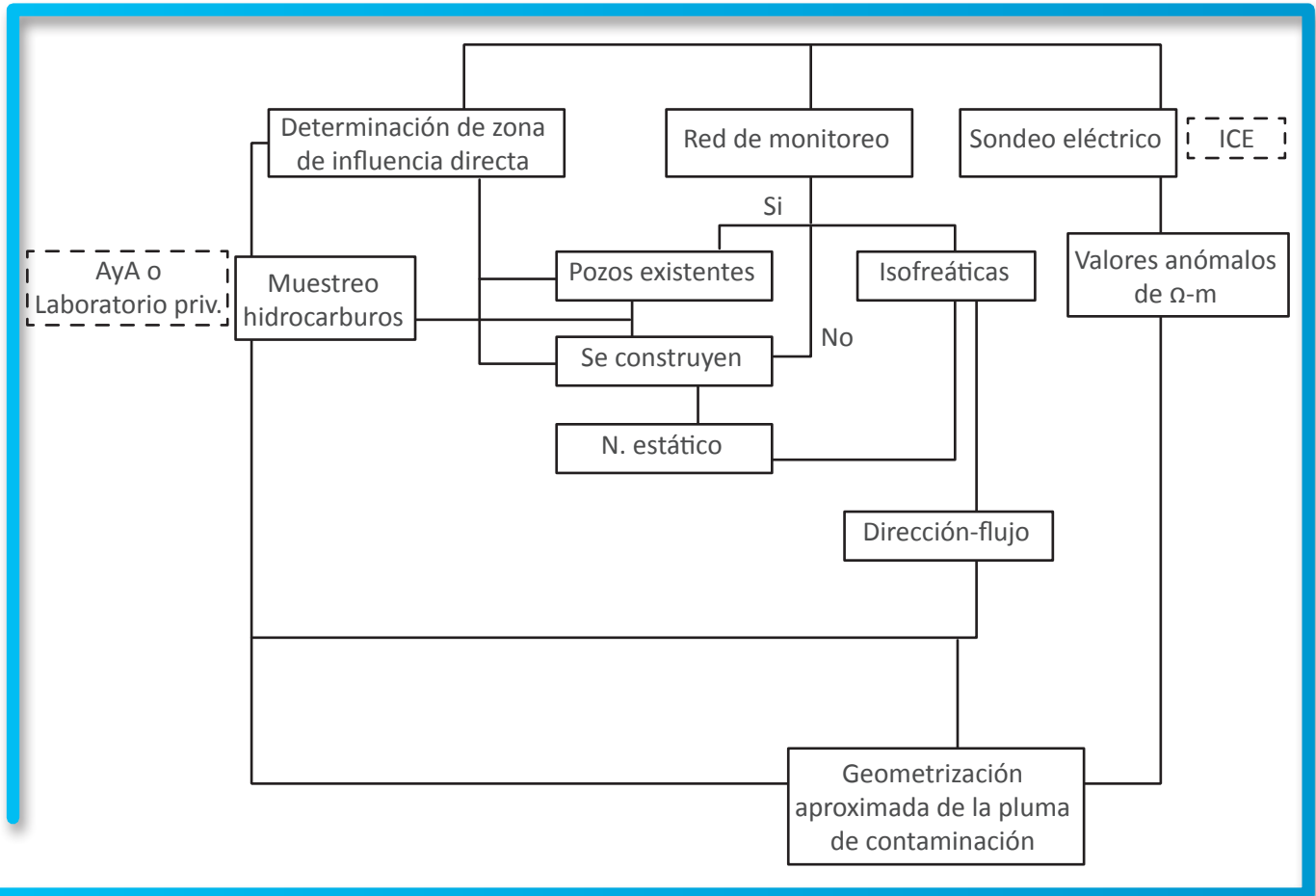
existentes podrán realizar análisis preliminares del contenido del derrame. (Figura N° 9)

La determinación de la pluma de contaminación es una aproximación de la ubicación en profundidad del hidrocarburo, que puede visualizarse espacialmente; los insumos para determinar esta pluma se obtienen la determinación de la red de monitoreo, los sondeos eléctricos verticales y de la determinación del tipo de hidrocarburos. (Figura N° 10).

**Figura No. 9**  
**Funciograma Variable "C"**



**Figura No. 10**  
**Funciograma Determinación Espacial**  
**Pluma de Contaminación**



## Conclusiones y recomendaciones

La experiencia adquirida en el estudio fue fundamental para establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

Se logró conformar una Comisión Interinstitucional, donde se conjuntaran, luego de muchas reuniones el grupo idóneo para actuar ante derrames de hidrocarburos.

Los Funciogramas constituyen el aporte y conclusión más importante de este trabajo, debido a que da una propuesta del accionar ante este tipo de incidentes en la etapa de planeación y diagnóstico, involucrando a las Instituciones estatales en el análisis de las variables propuestas, a su vez, establece las ventajas comparativas que tienen las diferentes instituciones, estableciendo las labores en que éstas pueden participar.

Se recomienda que la tabla propuesta por la Sub-Comisión de Química “Valores de Concentraciones de Hidrocarburos para Agua Potable” respecto a los valores máximos de concentración de hidrocarburos, con base en normas internacionales, sea discutida y analizada en un foro donde se participe al sector académico e instituciones involucradas en el manejo del recurso hídrico, para que sea validada y se permita su aplicación.

## Bibliografía

1. Bethune, D.; Ryan, C.; Losilla, M.; Krásný, J. 2007. Hydrogeology. En: Bundschuh, J. & Alvarado, G.E. (Eds). Central America: Geology, Resources and Hazards. Taylor and Francis. P. 665-686.
2. BGS & SENARA. 1985. Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. 1:50 000. Inglaterra: E.S.R. Limited.
3. Chaves, J. y S. Morera. 2004. Contaminación de hidrocarburos en el pozo AB-1089. San José, C.R: SENARA. P.18.
4. GeoStratu Consultores S.A. 2006. Estudio geofísico mediante resistividad eléctrica en el área del pozo AB-1089, ubicado en Barreal de Heredia, Provincia de Heredia. San José, C. R. : GeoStratu. P.161.
5. Losilla, M.; Rodríguez, H.; Schosinsky, G. ; Stimson, J. ; Bethune, D. 2001. Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central. Costa Rica : EUCR. P. 205.
6. Reynolds, J. (ed.) 2002. Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro. San José, C. R. : EUNED, P. 325.

# Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales, de la Ciudad de Limón, Costa Rica



<sup>1</sup> Hernán Villalobos Slan



<sup>2</sup> Luis Carlos Vargas Fallas



<sup>3</sup> Alejandro Rodríguez Vindas

## RESUMEN

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de Costa Rica (AyA), el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) desarrollaron, con la guía de Ingenieros Canadá, un análisis de la vulnerabilidad al cambio climático del Emisario Submarino de la ciudad de Limón, Costa Rica. El análisis, realizado por medio de la aplicación del Protocolo para la Determinación de Vulnerabilidad en Infraestructura (por sus siglas en inglés PIEVC), integró el sistema de colectores sanitarios, sistemas de bombeo, planta de preacondicionamiento de aguas residuales y el sistema de descarga controlada al mar (emisario submarino).

La infraestructura analizada se encuentra ubicada en la zona Caribe de Costa Rica, brinda servicio al casco central de la ciudad de Limón y tiene alrededor entre 10 y 20 años de haber sido construida (colector - 20 años, emisario -10 años), el objetivo principal de este estudio fue, realizar el estudio de riesgo del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Limón (Costa

Rica) ante el cambio climático a partir de la selección de los parámetros que describen el clima y los eventos meteorológicos que caracterizan a la zona geográfica donde se ubica esta infraestructura. Este análisis brindó, como resultado, la priorización de acciones a llevar a cabo por parte de la entidad administradora de la infraestructura (AyA), tomando en consideración los riesgos, debido a los efectos del cambio climático (naturaleza e intensidad de los eventos).

El análisis fue realizado mediante la utilización del Protocolo de Ingeniería PIEVC (versión 9 de abril de 2009), el proyecto se llevó a cabo a lo largo del periodo de agosto del 2010 a marzo del 2011 y contempló los efectos del cambio climático hasta el año 2040.

Dicho proyecto involucró a un equipo multidisciplinario compuesto por 13 profesionales en ingeniería y meteorología.

<sup>1</sup> Ing. Civil. UEN Gestión Ambiental. hvillalobos@aya.go.cr.

<sup>2</sup> Dr. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. UEN Investigación y Desarrollo. cavargas@aya.go.cr.

<sup>3</sup> Ing. Civil. Región Huetar Atlántica. arodriguez@aya.go.cr.

*Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del...*  
 - Ing. Hernán Villalobos, Dr. Luis Vargas, Ing. Alejandro Rodríguez

El IMN brindó su apoyo facilitando la información meteorológica, análisis, modelado y proyección del comportamiento climático. El AyA, dado que para este proyecto fungió como diseñador original de proyecto, dueño y administrador actual del sistema, brindó apoyo en términos técnicos ingenieriles de diseño y específicos de la operación de este. La implementación local del Protocolo de Ingeniería PIEVC y la coordinación general del proyecto estuvo a cargo del CFIA e Ingenieros Canadá fungió como consultor externo. Ingenieros Canadá es experto en la utilización del Protocolo y asesor en aspectos de interpretación meteorológica.

En virtud del análisis de riesgo que se realizó para el Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Limón, se determinó que éste cuenta con capacidad suficiente para resistir los efectos pronosticados del cambio climático para el periodo de análisis de 30 años.

**Palabras clave:** Cambio Climático, Alcantarillado Sanitario, Vulnerabilidad.

## ABSTRACT

The Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewer Costa Rica (AyA), the National Meteorological Institute of Costa Rica (IMN) and the Association of Engineers and Architects of Costa Rica (CFIA) developed under the guidance of Engineers Canada, an analysis vulnerability to climate change outfall city of Limon, Costa Rica. The analysis, carried out through the implementation of the Protocol for Determining Infrastructure Vulnerability (for its acronym in English PIEVC), integrated health system collectors, pumping systems, plant wastewater preconditioning and controlled discharge system sea (outfall).

Analyzed infrastructure is located in the Caribbean, Costa Rica, services the central town of the city of Limon and has about 10 to 20 years after being built (collector - 20 years -10 years emissary), the objective of this study was the study of risk Treatment System Wastewater Limon (Costa Rica) to climate change based on the selection of the parameters describing the climate and weather events that characterize the geographical area where the infrastructure is located. This analysis provided, as

a result, prioritization of actions to be carried out by the managing entity of the infrastructure (AyA), taking into account the risks, due to the effects of climate change (nature and intensity of the events).

Analysis was performed using PIEVC Engineering Protocol (version 9 April 2009), the project was carried out during the period August 2010 to March 2011 and looked at the effects of climate change through the year 2040..

This project involved a multidisciplinary team composed of 13 professionals in engineering and meteorology. The IMN provided support providing weather information, analysis, modeling and forecasting of climate behavior. The AyA, since for this project served as project designer original, current owner and administrator of the system, provided support in technical engineering and design specific to this operation. Local implementation of Protocol Engineering PIEVC and overall coordination of the project was led by the CFIA and Engineers Canada served as an outside consultant. Engineers Canada is an expert in the use of the Protocol and consultant on issues of interpretation weather.

Under risk analysis was performed for the system of collection, treatment and disposal of wastewater from the City of Lemon, it was determined that it has sufficient capacity to withstand the predicted effects of climate change for the period of analysis of 30 years.

**Keywords:** Climate Change, Sewerage, Vulnerability.

## Introducción

El impacto de los desastres se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas según señalan las estadísticas mundiales, en los países con menor desarrollo, la atención de los desastres se ha centrado en reconstruir la infraestructura dañada, en muchos casos construyendo las obras de reposición en los mismos sitios y con las mismas condiciones antecedentes al desastre, dando paso a ciclos reiterados de daños a estas; en lo que se ha denominado popularmente como la reconstrucción de la vulnerabilidad.

Respecto al cambio climático, en Costa Rica, se cuenta con un trabajo intenso y una amplia divulgación de los efectos esperados a causa del calentamiento global, a partir de estudios desarrollados por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), por medio del Instituto Meteorológico Nacional (IMN); pero se ha carecido de abordajes que permitan entender adecuadamente los mecanismos de interacción entre los cambios en el clima y las posibles afectaciones a la infraestructura nacional.

El Protocolo PIEVC (Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee, [www.pievc.ca](http://www.pievc.ca)) ha demostrado ser un instrumento adecuado para el conocimiento de las implicaciones del cambio climático sobre diversos tipos de infraestructura civil pública; de manera que en este caso, es una oportunidad para avanzar en el Sector de Agua Potable y Saneamiento. Sin dejar de expresar la necesidad de que sea aplicado a otras infraestructuras del Sector y de otros sectores de la economía nacional.

## Área de estudio

La Figura 1 muestra la zona de estudio del proyecto, ubicada en la Costa Caribe de Costa Rica. La infraestructura objeto del estudio es el Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Limón compuesto por: la red de recolección de aguas residuales y e estaciones de bombeo, la estación de preacondicionamiento (EPA) y el emisario submarino.

**Figura No. 1**  
**Área de estudio localizada en la Región del Caribe de Costa Rica**



## Protocolo PIEVC y Metodología de Análisis

El Protocolo consiste en un proceso paso a paso, diseñado para conducir estudios ingenieriles de vulnerabilidad en infraestructura debido a los efectos esperados como consecuencia del cambio climático; permitiendo identificar las interacciones más relevantes entre clima e infraestructura, en el diseño, la construcción y la gestión de infraestructura ya existentes; con el fin de que se tomen las medidas necesarias para incorporar la adaptación al cambio climático.

*Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del...*  
 - Ing. Hernán Villalobos, Dr. Luis Vargas, Ing. Alejandro Rodríguez

El Protocolo consiste en desarrollar las siguientes 5 etapas:

- Etapa 1 – Definición del proyecto.
- Etapa 2 – Obtención y análisis de la suficiencia de los datos
- Etapa 3 – Evaluación de riesgo.
- Etapa 4 – Estudio técnico.
- Etapa 5 – Recomendaciones.

El Protocolo exige que el profesional identifique los elementos de la infraestructura que serán sensibles a los cambios bajo ciertos parámetros climáticos, además deberá evaluar esta sensibilidad en el contexto de las expectativas en materia de rendimiento y de otras exigencias impuestas a la infraestructura. El rendimiento de la infraestructura puede verse influenciado por una serie de factores.

El profesional debe realizar una evaluación del riesgo de la vulnerabilidad de la infraestructura debido al cambio climático. Las interacciones identificadas, entre los parámetros climáticos y los componentes de infraestructura, serán evaluadas con base en el criterio profesional del equipo de evaluación. La evaluación del riesgo servirá para identificar las áreas de mayor preocupación o vulnerabilidad.

### Parámetros climáticos

Los parámetros climáticos que se han seleccionado se tipificaron dependiendo de la naturaleza de ocurrencia de estos, y para analizar como las cargas que se generan puedan afectar y poner en riesgo la infraestructura. Los parámetros climáticos se separaron en Recurrentes y Extremos. Ver Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Tipificación de eventos según su ocurrencia**

Tipo de parámetro	Descripción	Parámetro climático
Recurrente	En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura analizada, depende más de la persistencia de este que de la ocurrencia del evento en un año dado.	Altas temperaturas Oleaje Brisa marina Rayería
Extremo	En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura analizada, depende de un evento de tipo extremo o extraordinario en un año dado.	Lluvia de inundación Lluvia de sobrecarga Huracán Viento (velocidad y dirección)

Para los parámetros de tipo extremo se tiene un periodo de retorno más amplio, y por lo tanto están más asociados a las cargas de diseño de la infraestructura a evaluar.

**Tabla 2**  
**Escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos (P)**

Escala de probabilidad	Términos descriptivos	Evento	
		Recurrente	Extremo
0	Poco significativo o no se aplica	<0.1	0
1	Improbable / muy poco probable	5%	>0 a 0.05
2	Remota	20%	0.05 a 0.1
3	Ocasional	35%	0.1 a 0.25
4	Moderada / Posible	50%	0.25 a 0.75
5	A menudo	65%	0.75 a 1.25
6	Probable	80%	1.25 a 2
7	Con certeza / muy probable	>95%	> 2

La información meteorológica así como la descripción climática se obtuvo por medio del IMN, tanto de la Base de Datos de la Estación Limón 81-003, así como de literatura publicada por el IMN. La información de rayería se obtuvo del Instituto Costarricense de Electricidad. La información de oleaje se obtuvo de las simulaciones del Modelo WAVEWATCH III de la NOAA.

Las proyecciones climáticas futuras fueron analizadas mediante los resultados de los modelos climáticos realizados mediante el Modelo de Reducción de Escala Dinámico, por medio del Modelo Regional PRECIS, este modelo tiene una alta resolución espacial y temporal de 50 km y anual.

**Tabla 3**  
**Probabilidades de los parámetros climáticos para clima actual (PA) y futuro (PF)**

Parámetro	Período de registro	Umbral	Frecuencia	Probabilidad		
				Actual	Futura	
Recurrente	Altas temperaturas	1970-2010	$\geq 30^{\circ}\text{C}$	54,3%	4	5
	Oleaje	2000-Set 2010	2-3 m	3,7%	1	2
	Brisa marina	1970-1997	2-7 m/s NE-E	13,3%	2	3
	Descargas atmosféricas	2005-Jul 2010	Evento radio 5 km	9.2%	2	2
Extremo	Lluvia de inundación	1941-2009	$\geq 213,6\text{mm}$ en 24hr	0,31	4	5
	Lluvia de sobrecarga	1941-2009	$\geq 64,9\text{mm}$ en 24hr	9,94	6	7
	Huracán	1970-2005	Eventos Caribe CR	0,06	1	2
	Viento	1970-1997	10 m/s NE- E	0,15	3	3

Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del...  
 - Ing. Hernán Villalobos, Dr. Luis Vargas, Ing. Alejandro Rodríguez

## Componentes de infraestructura

Para el análisis de Vulnerabilidad de la Infraestructura al Cambio Climático del Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales, de la

Ciudad de Limón, se seleccionaron 32 componentes de infraestructura, los cuales se separaron en 6 grupos, tal y como se muestra en la Tabla 4.

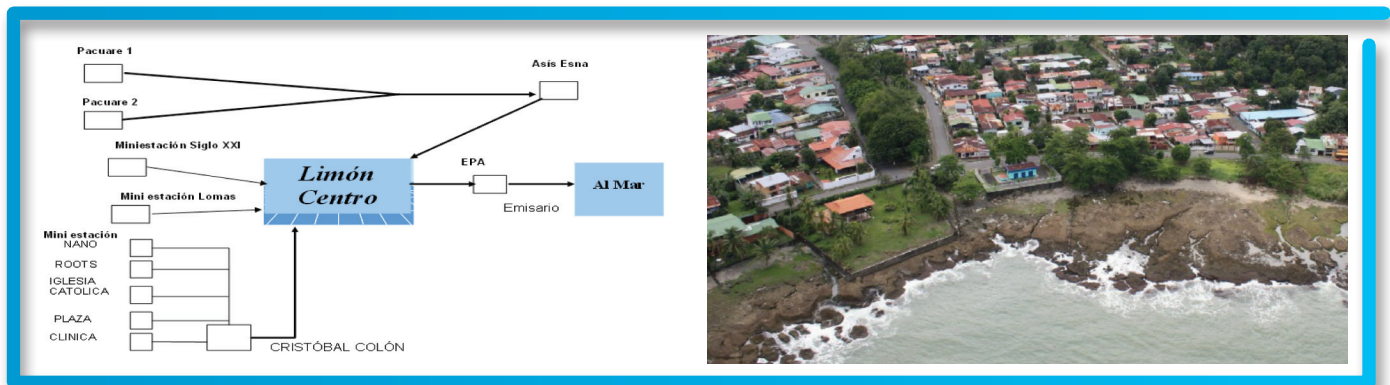
**Tabla 4**  
**Componentes de infraestructura**

Componentes de infraestructura		
Sistema de Recolección del Alcantarillado Sanitario	Conexión	Sifones, acometidas
	Transporte	Redes, subcolectores, colectores
	Inspección	Pozos de registro
Estaciones de Bombeo	Mini estaciones costeras	Clínica, Plaza, Iglesia Católica, Nano, Roots
		Lomas, Siglo XXI
	Mini estaciones terrestres	Asis Esna
		Cristobal Colón
	Estaciones sumergibles	Pacuare 1
		Pacuare 2
	Estaciones sumergibles	Pacuare 1
Pacuare 2		
Estación de Preacondicionamiento (EPA)	Edificio	
	Sistema ventilación	
	Compuertas, rejillas, canal parshall, canal interconexión	
	Militamices	
	Tornillo sin fin, canastas, sistema de izaje, transporte	
	Tanque cisterna	
	Bombas	
	Accesorios de la línea de bombeo	
	Estructura de rebalse	
	Panel de control	
	Planta eléctrica	
	Muro protección contra oleajes	

Continúa... 

Componentes de Infraestructura	
Emisario Submarino	Tuberías
	Difusores
	Válvula de cierre
	Anclajes
Personal	En el sistema de recolección de aguas residuales.
	En la EPA
	En Emisario Submarino
Equipos de Comunicación	Teléfonos de la EPA
	Telemetría
	Radio
	Mensajería de texto por internet

**Figura No. 2**  
*Esquema de bombeo del sistema de recolección de aguas residuales*



**Figura No. 3**  
*Personal de trabajo en el fondo marino del Emisario Submarino*



*Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del...  
 - Ing. Hernán Villalobos, Dr. Luis Vargas, Ing. Alejandro Rodríguez*

En la Figura 2, se muestra el esquema de bombeo del Sistema de Recolección de Aguas Residuales de la Ciudad de Limón, el cual como se puede observar dirige toda la recolección de aguas residuales a la Estación de Preacondicionamiento, donde se realiza un tratamiento previo al agua antes de ser vertida al mar por medio del Emisario Submarino (Figura 3), en el cual se termina de realizar el tratamiento al agua residual, por medio de dilución y dispersión en el fondo marino.

Luego de haber seleccionado todos los componentes de infraestructura que se desean analizar mediante el Protocolo (Tabla 4), se deben definir las clasificaciones que se le darán a cada uno de los valores de la escala de gravedad, como se muestra en la Tabla 5. Ante una interacción entre un parámetro climático y un componente de infraestructura, el valor de la gravedad es constante tanto para el escenario actual como con cambio climático.

**Tabla 5**  
**Escala de Gravedad (G)**

Escala	Calificación de la gravedad de las consecuencias y efectos
0	Poco significativa o no se aplica
1	Cambio medible muy bajo/ escaso
2	Cambio en la capacidad de servicio - baja/poca/mínima
3	Pérdida parcial de ciertas capacidades
4	Pérdida moderada de cierta capacidad
5	Pérdida de capacidad y pérdida parcial de función
6	Pérdida de función considerable/crítica
7	Pérdida de activos extrema/continua

## Cálculo de riesgo

Siguiendo el procedimiento indicado por el Protocolo PIEVC se presentan las etapas que comprenden el cálculo de riesgo (Etapa 3 del Protocolo):

- i. El equipo de trabajo selecciona los componentes de la infraestructura que está siendo analizada.
- ii. Se analiza con criterio experto la existencia o no de interacciones entre parámetros climáticos y las cargas generadas sobre los componentes de las infraestructuras.
- iii. Se consigna un sí o un no, dependiendo de que exista o no interacción, que determine o no la necesidad de una evaluación adicional.
- iv. Se asigna el valor de la probabilidad de ocurrencia del evento (P) según se indica en la Tablas 2 y 3.

v. Se asigna el valor de la gravedad (G) de la carga originada por el parámetro estudiado sobre el componente de infraestructura que está siendo analizado según se indica en la Tabla 5.

vi. Se calcula el riesgo (R) a partir del uso de la ecuación (1)

$$R = P \times G \quad (1)$$

Los umbrales de tolerancia al riesgo se definieron tal y como se muestra en la Tabla 6 y se basaron en provistos en el protocolo PIEVC.

**Tabla 6**  
**Umbral de tolerancia al riesgo**

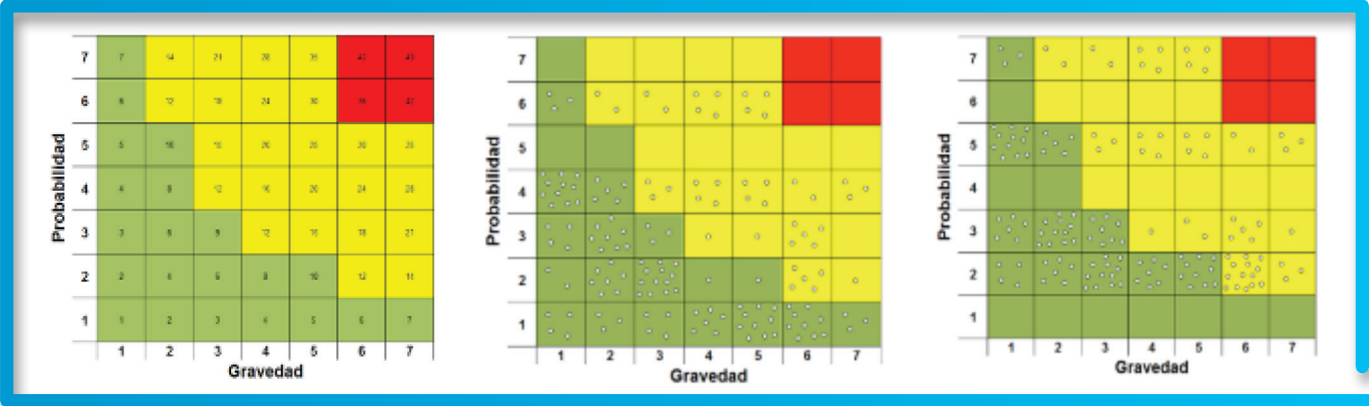
Umbral de riesgo			Actual	Futuro
< 12	Riesgo bajo	Se descarta para análisis posterior	97	84
12 - 35	Riesgo medio	Se conserva para análisis posterior	41	54
> 36	Riesgo alto	Ir directamente a recomendaciones	0	0
			Total	138

Escenario actual: se tiene que 97 (70.3%) de las interacciones tienen riesgo bajo y 41 (29.7%) tienen riesgo medio.

Escenario futuro: con cambio climático, disminuyen las interacciones que tenían riesgo bajo, ya que 13 de ellas pasan a tener riesgo medio, puesto que aumentan a 54 las interacciones que tendrán riesgo medio en escenario futuro.

Como se puede observar en los mapas de calor (Figura 4), los niveles de riesgo en la infraestructura aumentan con el efecto del cambio climático, generando que muchos componentes se encuentren muy cerca de riesgo alto, y que requieran intervenciones inmediatas.

**Figura No. 4**  
**Mapas de calor con la valoración de riesgos actuales y futuros**



(a) RA = Riesgo Actual      (b) RF = Riesgo futuro

En la Tabla 7 se muestran los componentes de infraestructura que presentaron mayor riesgo, como se puede observar los parámetros climáticos que generan

más problemas son la lluvia de inundación y la lluvia de sobrecarga.

Análisis de vulnerabilidad de la infraestructura al cambio climático del...  
 - Ing. Hernán Villalobos, Dr. Luis Vargas, Ing. Alejandro Rodríguez

**Tabla 7**  
**Componentes de mayor riesgo**

Parámetro Climático	Componente de Infraestructura	Riesgo				
		PA	PF	G	RA	RF
Lluvia de Inundación	Asis Esna	4	5	7	28	35
	Pacuare 2	4	5	7	28	35
	Compuertas, rejillas, canal Parshall e interconexión	4	5	7	28	35
Lluvia de Sobrecarga	Redes, subcolectores, colectores	6	7	5	30	35
	Mini estaciones terrestres	6	7	5	30	35
	Asis Esna	6	7	5	30	35
Lluvia de Inundación	Compuertas, rejillas, canal Parshall e interconexión	6	7	5	30	35
	Redes, subcolectores, colectores	4	5	6	24	30
Lluvia de Sobrecarga	Mini estaciones costeras	4	5	6	24	30
	Mini estaciones costeras	6	7	4	24	28
Lluvia de Sobrecarga	Pacuare 1	6	7	4	24	28
	Pacuare 2	6	7	4	24	28
	Tanque cisterna	6	7	4	24	28
Lluvia de Inundación	Mini estaciones terrestres	4	5	5	20	25
	Pacuare 1	4	5	5	20	25
	Tanque cisterna	4	5	5	20	25
	Estructura de rebalse	4	5	5	20	25

## Análisis de Ingeniería

Se realiza un análisis de ingeniería por parámetro climático y estimando las cargas que éstos generan sobre la infraestructura. Debido a la naturaleza de la infraestructura a evaluar, el enfoque para efectuar el

análisis de ingeniería va dirigido a realizar un análisis por parámetro climático, debido a que, para cada uno se deben determinar las acciones que se deben tomar para disminuir la vulnerabilidad.

**Tabla 8**  
**Componentes de mayor riesgo**

Carga Total (LT) Capacidad Total (CT)	
Razón de Vulnerabilidad (VR)	$VR = LT / CT$
Déficit de Capacidad (CD)	$CD = LT - CT$

El análisis de ingeniería se enfocó en disminuir las cargas generadas por los parámetros climáticos, más que a aumentar la capacidad de los componentes de infraestructura.

## Conclusiones y recomendaciones

La vulnerabilidad al cambio climático del sistema analizado tiene la capacidad suficiente para resistir los efectos pronosticados del cambio climático para el período de análisis de 30 años, lo anterior, si se ejecutan las recomendaciones indicadas en este informe.

Además en investigaciones futuras se deberán explorar aspectos que no se abordaron en este estudio, resolver las limitaciones sobre la calidad de la información y mejorar el proceso de aplicación del protocolo PIEVC.

Se debe realizar un programa de identificación y reducción de interconexiones de servicios entre el AyA, el Ministerio de Salud y la Municipalidad de Limón, ya que si 4% o más de los servicios del alcantarillado pluvial se encuentren interconectados al alcantarillado sanitario, este último colapsa por lluvia de sobrecarga.

El Sistema de Tratamiento de la Ciudad de Limón refleja una mayor capacidad de depuración del Emisario de lo esperado originalmente en las modelaciones, por lo que no existe riesgo de contaminación de las costas de Limón, tanto actualmente como a futuro debido al cambio climático.

El tema de Gestión de Riesgo debe alcanzar el nivel de Proyecto País, para asegurar un liderazgo y una participación conjunta de las instituciones responsables de la infraestructura y especialmente de las que generan datos de tipo climatológico.

Se recomienda continuar con las campañas de monitoreo por parte del Laboratorio Nacional de Aguas - AyA en la zona de descarga. Así como las inmersiones de inspección del Emisario y sus componentes, además de aumentar el personal del equipo de buceo del AyA.

## Referencias Bibliográficas

1. Bates, B.C.; Kundzewicz, Z.W. ; Wu, S.; Palutikof, J.P. eds.2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat. 210 pp.
2. Canadian Council of Professional Engineers. 2009. Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee. Canada. 76 pp.
3. Engineers Canada Proposol. 2010. Knowledge development and capacity building project: engineering vulnerability assessment of infrastructure to climate change stage 1. Costa Rica, Canada: s.n. 8 p.
4. Universidad de Cantabria. 2000. Resumen de los estudios realizados sobre el emisario submarino de Puerto Limón. España:Universidad de Cantabria. 95 pp.
5. Universidad de Costa Rica. Escuela de Geografía.1999. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto emisario submarino para la ciudad de Limón. San José, C.R. : PROIGE. 241p.

# Estimación del factor de demanda diario de la Ciudad de Jacó durante la temporada baja, en el Pacífico Central de Costa Rica

## RESUMEN

Se determinó la variación temporal en el consumo de los clientes del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) clasificados como grandes consumidores (condominios verticales, horizontales y hoteles) en un sistema costero entre dos periodos de una misma semana. Este ejercicio se realizó en el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Jacó (SAP Jaco) en el mes de julio del 2010, coincidiendo con el período de vacaciones escolares y la temporada alta, durante la cual se estimó que el factor de consumo se incrementa en 1.5 veces para el periodo de fin de semana respecto al consumo promedio semanal.

La prueba se repitió en la temporada baja, durante el mes de noviembre de 2011. Se determina que no existe una variación importante entre periodos de una misma semana para los grandes consumidores, especialmente en los Condominios Horizontales, donde el comportamiento para ambos periodos de una misma semana es prácticamente el mismo. La evidencia indica que el consumo de los hoteles varía para el fin de semana, independientemente de la temporada.

**Palabras clave:** Demanda diaria, Dotación costera, Factor máximo diario, Jacó - Puntarenas.

## ABSTRACTS

The seasonal variation in the consumption of water was determined for the clients of the Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) classified as large consumers (hotels, vertical and horizontal condominiums) in a coastal system between two periods of the week.



<sup>1</sup> José Pablo Bonilla Valverde

This exercise was conducted in the Drinking Water Supply System of the City of Jacó in July 2010, coinciding with the school holidays and the high season, during which it was estimated that the consumption factor increases 1.5 times for the weekend period compared to average weekly consumption.

The test was repeated in the low season, during the month of November 2011. It is determined that there is no significant variation between the two periods of the week for large consumers, especially in horizontal condominiums, where the behavior for two periods of one week is about the same. There's evidence that consumption for hotels varies for the weekend, regardless of the season.

**Key words:** Drinking water, Daily demand, Coastal consumption, Maximum daily factor, Jacó - Puntarenas.

<sup>1</sup> Máster en Gestión Integral del Agua. Dirección Desarrollo Físico. jpbbonilla@aya.go.cr.

## Objetivos

### Principal

– Determinar el factor de consumo para una ciudad costera en el Pacífico Central de Costa Rica durante la temporada baja

### Secundario

– Determinar el factor de consumo para fin de semana para una ciudad costera en el Pacífico Central de Costa Rica durante la temporada baja.

– Determinar el factor de consumo entre semana para una ciudad costera en el Pacífico Central de Costa Rica durante la temporada baja.

### Metodología empleada

En el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) se llevan lecturas mensuales acumuladas de los micromedidores de cada servicio como parte del Sistema Comercial que opera el Instituto. La resolución de esta información es por lo tanto mensual, y no permite distinguir variaciones en el consumo que no sean mes a mes; por esto, para determinar el cambio que se espera se de en el consumo en una misma semana, se procedió a realizar lecturas diarias de lunes a viernes en los micromedidores de algunos grandes consumidores previamente seleccionados. Las lecturas de los micromedidores se realizaron todos los días durante las mañanas.

Además, se reforzaron las lecturas con las mediciones de caudal en todas las fuentes de producción, con el fin de evidenciar este comportamiento. Se realizaron medidas de caudal en horario continuo con el objetivo de determinar algún cambio en el comportamiento del consumo.

Se identifican 3 categorías distintas de grandes consumidores, entre los que se tienen Condominios Verticales, Condominios Horizontales y Hoteles. Se trata de identificar al menos tres clientes dentro de cada una de categorías; se excluyeron de este trabajo los consumidores domiciliarios.

Se intentó determinar la ocupación de los servicios censados, pero no fue posible tener acceso a esta información; si se comprobó por medio del trabajo de campo que en la mayor parte de estos se nota un cambio en la ocupación para los dos periodos considerados, dándose un aumento en el fin de semana y recuperándose en el periodo entre semana.

### Actividades o etapas desarrolladas

Se realizaron mediciones de caudal en horario continuo en las fuentes de producción del Sistema, así como la lectura de los micromedidores de algunos grandes consumidores previamente seleccionados.

El registro de caudal de las fuentes de producción comenzó el lunes 21 de noviembre de 2011 y concluyó el jueves 1 de diciembre de 2011, siendo éste el periodo de menor consumo que se determinó en el DSAP 2010 del SAP Jacó (AyA, 2011), con el objetivo de capturar la variación en el consumo diario durante este periodo. Las mediciones de caudales se realizaron con medidores de flujo ultrasónicos, de forma continua.

Las lecturas de los micromedidores se realizaron durante todas las mañanas de lunes a viernes; comenzando con las lecturas el martes 22 noviembre de 2011 y concluyendo el jueves 1 de diciembre de 2011. En total se tomaron lecturas de 10 distintos tipos de grandes consumidores.

*Estimación del factor de demanda diario... - MSc. José Pablo Bonilla*

Se identificaron 3 categorías distintas de grandes consumidores, entre los que se tienen: Condominios Verticales, Condominios Horizontales y Hoteles; en las fotografías 1, 2 y 3 se presentan unas imágenes de

este tipo de consumidores respectivamente. Se trató de identificar al menos tres clientes dentro de cada una de categorías. Se excluyeron de este trabajo los consumidores domiciliarios.



Fotografía No. 1: Condominio Horizontal



Fotografía No. 2: Condominio Vertical



Fotografía No. 3: Hotel

En la Tabla No. 1, se presentan el número de identificación de servicio (NIS), la categoría en la que se clasifica y el tipo de micromedidor de los servicios censados.

**Tabla 1**  
**Ruta de lectura diaria de los micromedidores de los servicios seleccionados**

NIS	Categoría	Tipo de medidor	NIS	Categoría	Tipo de medidor
5305176	Vertical	Compuesto	5305069	Horizontal	Simple
5305261	Vertical	Compuesto	5305113	Horizontal	Compuesto
5309302	Vertical	Simple	5306254	Horizontal	Simple
5377394	Vertical	Simple	5307803	Horizontal	Simple
5326380	Vertical	Simple	5305227	Horizontal	Simple
5309348	Vertical	Simple	5306423	Horizontal	Compuesto
5320934	Vertical	Simple	5305503	Hotel	Simple
5331499	Vertical	Simple	5305888	Hotel	Simple
531724	Vertical	Simple	5305280	Hotel	Simple
5305770	Vertical	Simple	5309387	Hotel	Simple

**Fuente:** Elaboración propia

### Resultados obtenidos

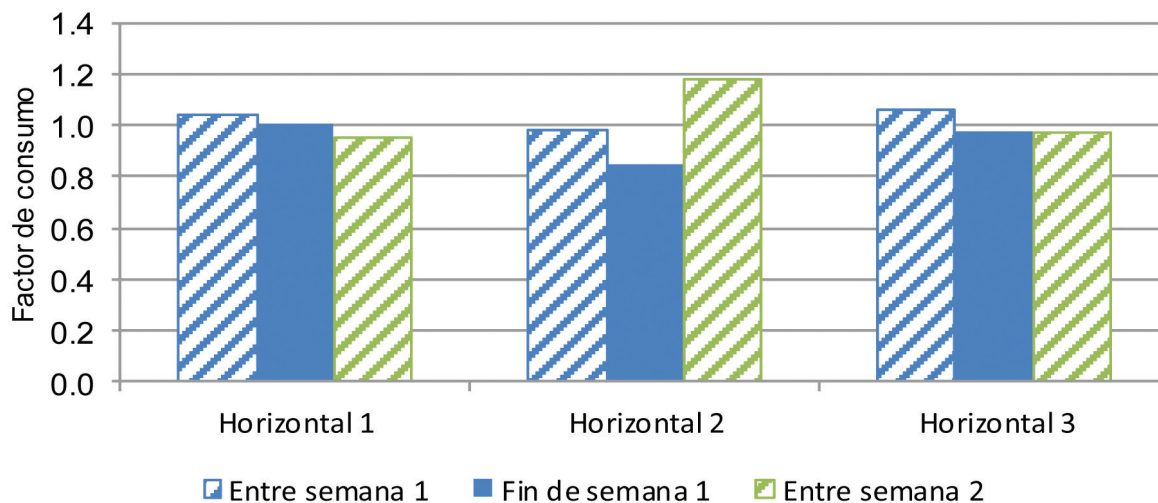
No se observó una variación importante en el consumo de los consumidores, excepto en los Hoteles. Igual que en la prueba realizada en el 2010, 2 de los 4 medidores de los hoteles censados no estaban operando, debido a que utilizan fuentes propias para abastecerse, y estos medidores sólo se utilizan en caso de ser necesario, durante picos de consumo.

En los gráficos 1, 2 y 3 se presentan la variación del factor de consumo entre semana (barras con rayas) y fin de semana (barras de colores) para las categorías de Condominio Horizontal, Condominio Vertical y Hoteles respectivamente.

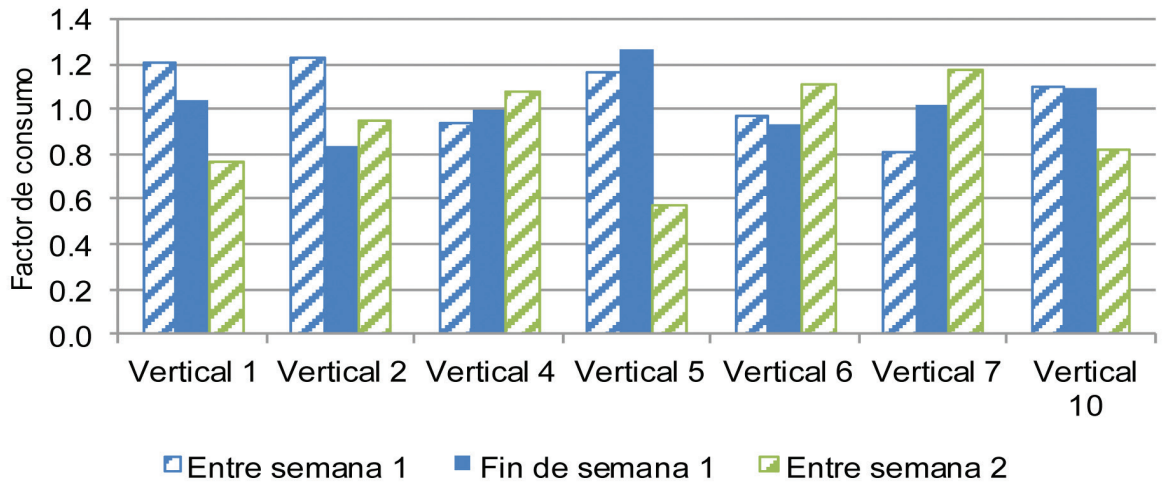
A diferencia del trabajo efectuado durante la época de temporada alta, en estas mediciones durante la temporada baja, no se observa un comportamiento uniforme. La menor variación se presenta en los Condominios Horizontales, que en ningún caso supera un factor de 1.2, y ésta se presenta en el Condominio Horizontal 2 para el periodo entre semana, mientras que los Condominios Horizontales 1 y 3 presentan un comportamiento uniforme. Respecto al comportamiento de los Condominios Verticales, se presenta un comportamiento errático, sin ningún patrón determinado. El máximo factor de consumo para este tipo de usuario es de 1.2; los dos hoteles estudiados presentan un factor de consumo máximo de 1.7 para el fin de semana.

En general, se presentó una disminución en la heterogeneidad en los factores de consumo para dos periodos de una semana, evidenciándose un comportamiento más uniforme. Durante la prueba en temporada alta, el máximo factor medido para un Condominio Vertical fue de 1.5, mientras que en temporada baja, éste apenas alcanza un factor de 1.2. En el estudio en temporada alta, el máximo factor medido para un Condominio Vertical y un Hotel fue de 2.0, en esta prueba los factores observados fueron de 1.2 y 1.7 respectivamente.

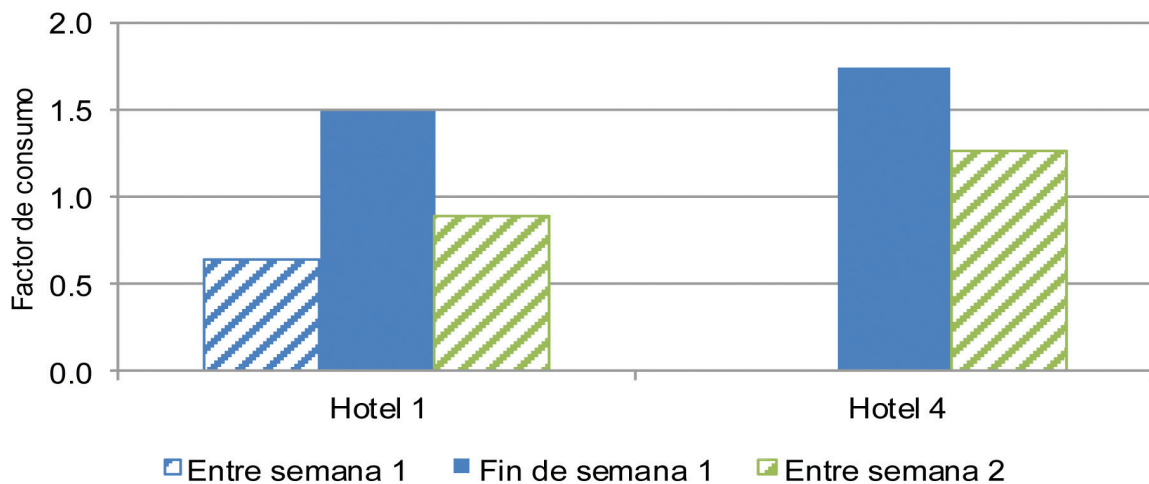
**Gráfico 1. Factor de consumo entre semana y para fin de semana para condominios horizontales**



**Gráfico 2. Factor de consumo entre semana y para fin de semana para condominios verticales**



**Gráfico 3. Factor de consumo entre semana y para fin de semana para hoteles**



## Conclusiones y recomendaciones

Durante la prueba en temporada baja no se logra determinar un aumento en el consumo entre el fin de semana y entre semana tan marcado, como el que se determinó en temporada alta. Durante el ensayo en temporada alta, en los Hoteles y los Condominios Verticales, el factor entre el consumo de viernes, sábado y domingo y el consumo promedio para cada uno de los servicios alcanzó un valor de 2.0, mientras que en esta prueba, alcanzó valores de 1.2 y 1.7 respectivamente.

El comportamiento de los Hoteles parece no verse tan afectado por la temporada en que se realizaron las mediciones, siendo este factor de consumo mucho mayor al que se establece por norma, el factor máximo diario para sistemas de abastecimiento de agua potable tiene un valor entre 1.1 y 1.3 según el AyA (2001). Se propone continuar con este tipo de estudios para revisar los factores máximos diarios y los horarios para sistemas costeros, especialmente en sistemas que cuenten con hoteles.

Durante la prueba del 2010 (julio), que determinó el consumo en temporada alta, se realizaron medidas de los micromedidores a lo largo de todo un mes, mientras que en este estudio en temporada baja del 2011 (noviembre), las medidas se realizaron únicamente por 10 días; esto repercutió en la cantidad de datos que se tenían para comparar el consumo, se estima que para tener mejores resultados la prueba debe repetirse por al menos un mes de medición de los micromedidores.

En este estudio, se observó que el consumo durante el primer periodo entre semana, es menor, y aumenta al realizarse la prueba; parece indicar que el usuario se percata de la prueba. Es importante determinar que no existen conexiones ilícitas ni ningún tipo de inconsistencia con estos grandes consumidores.

Se propone realizar este tipo de estudios para las zonas costeras del Pacífico Central, Guanacaste y Caribe. Es de vital importancia determinar el factor de consumo para el diseño de sistemas de abastecimiento costeros, los cuales están expuestos a variaciones importantes en sus patrones de consumo.

## Agradecimientos

Es necesario reconocer el aporte efectuado por el personal de la Oficina Cantonal del AyA de Jacó, especialmente al Sr. Jorge Alfaro Carmona por el sobre cargo en la lectura de los macromedidores. Igualmente se debe reconocer la colaboración de los ingenieros Alejandro Fernández Flores y José Luis Arguedas Negrini al permitir y fomentar este tipo de estudios tan escasos y necesarios en la Institución

## Bibliografía

1. AyA. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2001. Acuerdo No. 2001 -248 Normas de diseño de agua potable. San José, C.R.: AyA.
2. AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). Diagnóstico del Sistema de Agua Potable de Jacó. San José, C.R.
3. Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS (XXVII, 2012, San Salvador, El Salvador). 2012. Estimación del factor de demanda diario de la Ciudad de Jacó, en el Pacífico Central de Costa Rica. Bonilla Valverde, J. P.; Laurito Torres, F. San José, C.R.

## Experiencia del Convenio entre el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y el Ministerio de Educación Pública ( AyA-MEP), para lograr un mejor uso del recurso hídrico en los centros educativos públicos



<sup>1</sup> Rolando Araya Víquez



<sup>2</sup> Alicia Canales Arias

### RESUMEN

El presente artículo pretende compartir y divulgar las principales actividades y logros alcanzados a través de la implementación del Convenio entre el Instituto Costarricense de Acueductos Alcantarillados y el Ministerio de Educación Pública (AyA-MEP) en vigencia desde el año 2006; el propósito de dicho Convenio ha sido sin duda el logro de una serie de beneficios de mutuo provecho, y de un aporte para nuestra sociedad con relación al buen uso del recurso hídrico, siendo esto quizás lo más trascendente, lograr un avance hacia un cambio cultural, que lleve a una mayor concientización en la niñez y juventud, personal docente y administrativo de los centros educativos públicos sobre el valor y la importancia de usar racionalmente el recurso hídrico.

Desde la perspectiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), se pueden destacar dos aspectos relevantes involucrados en este convenio:

El primero de carácter financiero, que ha traído un importante incremento en los ingresos institucionales y una eliminación drástica de la morosidad y recuperación del pendiente de pago. El segundo aspecto se refiere al efecto multiplicador en la formación y rescate de valores respecto al buen uso del agua potable, en una cartera de clientes actual de 948 centros educativos que se encuentran oficialmente incluidos en el convenio, y que cubre una población estudiantil de más de seiscientos mil estudiantes.

**Palabras clave:** Convenio AyA-MEP, Uso racional del agua, Centros educativos públicos

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

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

## ABSTRACTS

This article aims to share and disseminate the main activities and achievements through the implementation of the Convention between the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers Ministry of Public Education (AyA-MEP) in effect since 2006, the purpose of the Convention has undoubtedly been the achievement of a number of benefits of mutual benefit, and a contribution to our society in relation to the proper use of water resources, this being perhaps most important, to achieve progress towards a cultural change, leading to a greater awareness among children and youth, faculty and staff of public schools about the value and importance of the rational use of water resources.

From the perspective of the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers (AyA), we can highlight two important aspects involved in this agreement:

The first financial, which has brought a significant increase in institutional revenues and drastic removal and recovery of arrears outstanding. The second aspect relates to the multiplier effect on the formation and recovery of values regarding the proper use of water, in a current client base of 948 schools that are officially included in the agreement, and that covers a student population of more six hundred thousand students.

**Keywords:** AyA Convention-MEP, Rational water use, Public schools

## Antecedentes

Entre las funciones del Departamento de Medición (hoy Dirección de Desarrollo Tecnológico) desde su creación en el año 1986, estaba atender operativamente el Programa de Grandes Clientes (Altos consumidores), selecto grupo de clientes que constituyen tan solo el 1% de los abonados (clientes), los cuales le generan al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) el 30% de su recaudación.

Los centros educativos públicos formaban parte del (este) Programa de Grandes Clientes, no obstante, a diferencia de los demás, la morosidad de estos clientes era tan alta que Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) sólo recaudaba el 20% del agua que consumían. Para el año 2006, el pendiente de pago acumulado por los centros educativos ascendía a la suma de seiscientos millones de colones (¢600.000.000), con índices de consumo de agua muy elevados, producto de múltiples fugas, daños en la red, gasto excesivo de agua, y carencia de mantenimiento correctivo y preventivo. Esta situación de morosidad y altos consumos se agravaba en gran parte por la insuficiencia de presupuesto que alegaban tener las Juntas Educativas y Administrativas de los centros educativos para hacer frente a los pagos y de alguna manera amparados al hecho de que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) no se les podía suspender el servicio; esta situación conducía a decisiones legales que mediante proyectos de ley condonaban todas las deudas, tal es el caso de lo que ocurría el 18 de noviembre del 2005 en la corriente legislativa, había un proyecto de Ley para promover no sólo a la condonación del pendiente acumulado, sino la exoneración permanente de pago por servicio de agua a las escuelas y colegios públicos de nuestro país, aplicación de la Ley No. 7981 del 10 de marzo del 2000: "La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, decreta: Ley para pagar tarifas especiales en el servicio de agua y condonar obligaciones atrasadas de Escuelas y Colegios Públicos". Esta práctica repetitiva de condonar las deudas a los centros educativos, era de evidente prejuicio institucional, tanto por la reducción de los ingresos, como un aporte adicional al porcentaje de agua no contabilizado (ANC).

Conscientes de esta nueva amenaza camino a la Asamblea Legislativa, se tomó una iniciativa para implementar un plan piloto, que consistió en intervenir cinco centros educativos de San José, para llevar a cabo una investigación y analizar con detenimiento las causas de las fugas y los altos consumos que son comunes en la mayoría de los centros educativos, de manera que se

corrigieran estas anomalías, por otro lado, si los centros educativos pagan el servicio eléctrico y telefónico, no era posible y justo hacer lo mismo con el servicio del agua.

Finalmente, cabe añadir otro antecedente relevante y contradictorio a la vez, dado que si bien en los centros educativos se imparte el conocimiento, se refuerzan valores cívicos, respeto a la autoridad y las personas, responsabilidad por el ambiente y los recursos naturales; la existencia de múltiples fugas en orinales, lavatorios, piletas, tanques, comedores, tuberías, impago por el servicio, sin que nada pasara ni se corrigiera, establecía un mensaje permanente de desinterés para usar racionalmente el recurso hídrico.

### Objetivo general

Aplicar procedimientos técnicos, prácticos y de concientización a los usuarios de los centros educativos públicos; implementando mejoras en las instalaciones mecánicas al reparar daños y fugas, así como el llevar a cabo las recomendaciones que permitan el ahorro del agua potable.

### Objetivos específicos

1. Recuperar el pendiente de pago adeudado por el Ministerio de Educación Pública (MEP) al AyA de seiscientos nueve millones con seiscientos mil colones (¢609.600.000,00) que se tenía en el año 2006.

2. Lograr por medio del Convenio que el MEP se responsabilice y comprometa a pagar al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) el servicio recibido en cada centro educativo.

3. Asesorar a cada centro educativo, emitiendo recomendaciones técnicas y mejoras a realizar con el uso, de tecnologías automatizadas, tendientes a reducir el consumo excesivo de agua potable, de manera que se mantengan dentro del rango de consumo promedio por estudiante establecidos en el Convenio.

4. Realizar aforos periódicos para el control y seguimiento en los centros educativos destinados a determinar consumos, así como la existencia y cuantificación de fugas.

5. Aportar información técnica, material educativo, y recomendaciones que permitan elaborar programas o actividades de concientización y ahorro del agua.

6. Diseñar un plan piloto para realizar un diagnóstico en cinco centros educativos, y conocer detalles técnicos como: estado de la red interna de abastecimiento, cantidad y magnitud de las fugas, prácticas y hábitos en el consumo del agua potable; y realizar las principales mejoras y acciones correctivas, para establecer finalmente un parámetro de consumo racional de agua en metros cúbicos, por mes de curso lectivo.

### Descripción del Plan Piloto

Hacia finales del año 2003 el Departamento de Medición implementó el Plan Piloto denominándolo “Asesoría Técnica en las Instalaciones Mecánicas de la Red Interna de Agua Potable”, para tal efecto fueron seleccionados cinco centros educativos: Escuela 15 de Setiembre, Escuela José T. Mora en Calle Fallas, Escuela Monterrey ubicado en Lourdes de Montes de Oca, la Escuela Omar Dengo en Barrio Cuba y la Escuela General Manuel Belgrano en Hatillo No.1, en cada uno de éstos centros educativos se llevaron a cabo las siguientes acciones:

1. Se seleccionaron cinco centros educativos para el Plan Piloto, considerando cantidad de estudiantes y consumo de agua mensual.

2. Se confeccionaron expedientes para cada centro educativo elegido, partiendo con la información del Sistema Comercial Integrado (OPEN), y verificando la información en el campo, en algunos casos se requirió sustituir el hidrómetro (medidor) por encontrarse dañado, en otros casos se sustituyó por uno de mayor diámetro, acorde al consumo real, pues la mayoría de los medidores eran de 12,7 mm (½”), para que fuera más acorde al consumo, de manera que se pudiera tener información confiable del consumo.

3. Se realizaron aforos para determinar la magnitud de las fugas de cada centro educativo, este procedimiento consistió en utilizar el mismo hidrómetro ubicado en la acometida, y medir el flujo de agua que atraviesa el medidor entre el tiempo transcurrido.

4. Se contactó al director de cada centro educativo para comunicarle del resultado del aforo realizado, donde se evidencia la existencia de fugas de agua, y con ello los altos consumos registrados en la facturación. En consecuencia, se le solicita al director, permita al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) realizar una revisión técnica de las instalaciones del centro educativo, para emitir un diagnóstico detallado sobre los daños y fugas existentes; con el propósito de tomar las acciones correctivas pertinentes.

5. Se procedió a asesorar al encargado de mantenimiento de cada centro educativo, para que realizara las acciones correctivas (sustituyendo llaves dañadas y boyas en inodoros, pegando tuberías desacopladas o rotas, etc.) para eliminar toda fuga existente así como daños. Así mismo en apoyo a estas acciones correctivas, en calidad de préstamo, se instalaron válvulas ahorradoras de agua de cierre mecánico tipo “fordilla” de las que años atrás Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) utilizó como fuentes públicas, ver ilustración de éstas en las fotografías 1 a 3, donde se muestran aplicaciones de éstas en bebederos y orinales para varones.



**Fotografía No. 1:** Estudiante de la Escuela Manuel Belgrano, haciendo uso de la válvula fordilla en el comedor de su escuela



**Fotografía No. 2 :** Sustitución de tres llaves de chorro, por válvulas tipo fordilla en bebedero para los estudiantes



**Fotografía No. 3:** Aplicación de válvulas fordillas en orinal tipo “cascada”

6. Se procedió a realizar lecturas periódicas para analizar y cuantificar los nuevos consumos de agua, después de las mejoras realizadas.

7. Se realizaron campañas informativas a los estudiantes, personal docente y administrativo sobre las mejoras realizadas, para fortalecer dicho esfuerzo con el objetivo de incentivar al ahorro del agua.

### **Análisis y resultados del Plan Piloto**

1. En la mayoría de los centros educativos se evidenció, la ausencia de personal encargado de realizar el mantenimiento correctivo y preventivo de la red de agua potable y todos sus accesorios y componentes (tanques de almacenamiento, válvulas de boya, llaves de chorro, duchas, orinales, servicios sanitarios, lavatorios, etc.).

2. Se verificó que prácticamente todas las redes internas (tuberías) de los centros educativos eran de diámetro 12,7 mm (½”), de hierro galvanizado, muchas de ellas estaban obstruidas o corroídas, además eran muy antiguas, instaladas desde que se fundaron los centros educativos.

3. Se comprobó que tanto la población estudiantil como el personal docente y administrativo de los centros educativos, carecían de programas técnicos para la concientización hacia un mejor uso y ahorro del agua potable.

4. Se logró identificar tres áreas como las principales causantes del mayor aporte en el consumo de agua de los centros educativos incluídas las fugas, en su orden de magnitud: Los orinales tipo “cascada”, las pilas de los comedores estudiantiles y las piletas de lavado de los trapeadores de piso que utilizan los conserjes.

5. Se evidenció una importante reducción en el consumo de agua, una vez realizadas las mejoras: eliminación de fugas, uso de dispositivos ahorradores de agua.

6. Se analizó que por causa de los altos consumos de agua de los centros educativos, las facturaciones correspondientes eran tan elevadas que imposibilitaban a éstos, hacer frente al pago del servicio, sobrepasando su capacidad presupuestaria destinada para este rubro.

### Conclusiones del Plan Piloto

1. Una de las causas por las cuales se presentan los altos consumos de agua, fue atribuida a la ausencia de personal encargado para el mantenimiento de las instalaciones mecánicas de la red de agua potable, esta situación se atribuyó a la insuficiencia o carencia de presupuesto para tal fin, añadido a la costumbre insana de no pagarle al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) por el servicio, desalentaba toda iniciativa de tener en buen estado las instalaciones.

2. Con respecto al material, diámetro, estado y antigüedad de la tubería, se concluyen varios aspectos:

2.1 El diámetro de 12,7 mm en la tubería es insuficiente para abastecer la demanda de agua en los centros educativos.

2.2 La incrustación de minerales dentro de las tuberías antiguas de hierro galvanizado, resta capacidad de trasiego de agua, lo que al igual que su limitación en el diámetro, provoca problemas higiénicos sobre todo en las baterías de servicios sanitarios.

2.3 Además las tuberías de hierro galvanizado sufren la corrosión que provoca múltiples perforaciones causantes de las fugas, sean visibles o no visibles bajo tierra.

3. Es necesario que además de realizar las mejoras y reparaciones que permitan eliminar todas las fugas, deben realizarse programas de concientización entre los usuarios de los centros educativos, hacia un uso más racional del agua potable.

4. Debido a que identificadas las tres principales áreas de mayor incidencia en el consumo total de agua del centro educativo, el esfuerzo por controlar y reducir el consumo de agua, debe enfocarse con prioridad a las áreas: Orinales tipo “cascada”, pilas de comedores y piletas de lavado de los trapeadores.

5. Con respecto al ahorro de agua que se produjo al implementar el Plan Piloto en estos cinco centros educativos, cabe resaltar que el consumo promedio antes del Plan Piloto basado en promedio estadístico del Sistema Comercial Integrado, durante tiempo lectivo fue de: 890 litros por estudiante por mes (lts/est/mes); luego de implementado el Plan Piloto, el consumo se redujo a 530 lts/est/mes (ver información en cuadro N° 1); obteniéndose una reducción de 360 lts/est/mes, es decir un 40,44% de ahorro de agua.

### Experiencia en la Escuela República de Haití

Posterior al Plan Piloto se llevó a cabo una intervención especial en la Escuela República de Haití, escuela de atención prioritaria ubicada en Paso Ancho, con más de 1.500 estudiantes, en donde además de eliminarse las fugas, modificarse los orinales de varones (tipo cascada), realizar una serie de charlas de concientización con los escolares, personal docente y administrativo; se ejecutaron otras acciones tendientes a lograr un ahorro de agua aún mayor al 40,4% alcanzado en el Plan Piloto; esto se logró con el esfuerzo conjunto de un fabricante brasileño quien donó válvulas temporizadas (cierre

automático), junto con el aporte de la mano de obra de su representante local para instalar dichas válvulas.

El centro educativo sustituyó y amplió el diámetro de los ramales principales de la red de agua, y Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) aportó la asesoría y coordinación de las mejoras, que consistieron en instalar válvulas temporizadas en todas la piletas, lavatorios, bebederos, orinales y pilas de comedor. El resultado final de todo este esfuerzo conjunto trajo como resultado un consumo de tan solo 212 litros/estudiante/mes, es decir un ahorro de agua del 76% respecto a un centro educativo no intervenido.

A continuación se incluyen comentarios y se detallan las principales acciones llevadas a cabo:

- Sustitución de llaves de chorro en bebederos y lavatorios, por válvulas temporizadas (cierre automático) con descargas controladas entre 1 y 1,5 litros, las fotografías que ilustran el detalle.



Fotografía No. 4: Bebedero Escuela República de Haití antes de las mejoras. Incluye un refrán para recordar



Fotografía No. 5: Válvulas temporizadas. Sustituyendo válvulas de chorro Modificación a orinal tipo "cascada" tubería de plástico multiperforada abierta permanentemente, a uno que es controlado con una válvula temporizada de botón



Fotografía No. 6: Orinal tipo "cascada" antes de la intervención en la Escuela República de Haití



**Fotografía No. 7:** Orinal tipo “cascada” operado con válvula temporizada instalada con la mejora. Automotización en el abastecimiento de agua en la pila del comedor estudiantil de la Escuela República de Haití, las figuras No 8 y 9 muestran detalles



**Fotografía No. 9:** Accesorio de válvula temporizada

### Análisis de los resultados obtenidos en la Escuela República de Haití

1.El logro de todo este esfuerzo trajo como resultado una reducción del consumo a un promedio 212 litros/ estudiante/mes, es decir un ahorro de agua del 76% respecto a centros educativos no intervenidos. Las siguientes ilustraciones muestran fases del trabajo efectuado en la Escuela República de Haití.

2.Es importante considerar el consumo de agua que un orinal tipo “cascada” demanda al tener la llave abierta, a una presión promedio de 25 psi, se da un caudal aproximado de 700 litros por hora, que de mantenerse, al cabo de un mes se habrán consumido 504 m<sup>3</sup>.

3.Los comedores estudiantiles son verdaderos restaurantes, donde se alimenta a cientos de niños con almuerzos y meriendas, los alimentos son preparados allí mismo y se concreta con el lavado de todos los utensilios, Era práctica común en muchos comedores mantener las llaves de chorro abiertas durante horas cada día, aun cuando, no se hiciera uso del agua, una estimación del caudal consumido es entre 500 y 600 litros por hora. La instalación de una válvula temporizada con accionamiento de pedal, permitió usar solamente el agua requerida, en consecuencia se estima que el ahorro logrado fue de unos 50 m<sup>3</sup> mensuales (4 horas menos de uso por día).



**Fotografía No. 8:** Válvula temporizada automática bajo el fregadero

## Segunda fase para implementar el ahorro de agua en centros educativos públicos

En vista de los buenos resultados alcanzados a través del Plan Piloto, se consideró importante desarrollar una segunda fase donde se tomarán en cuenta otros centros educativos públicos, para implementar la misma experiencia desarrollada y obtener los resultados mismos resultados.

Fue entonces cuando se decidió implementar el Programa “Asesoría Integral para el Uso Óptimo del Agua Potable”.

Dicho Programa inició en el mes de febrero del año 2006, para ello se eligieron 64 centros educativos públicos pertenecientes a la Región Metropolitana (hoy Sistemas GAM), al igual que se describió en el Plan Piloto, se ejecutaron las mismas actividades, para un mayor avance, los aforos se realizaron en tiempo de vacaciones.

## Resultados obtenidos de la segunda fase Plan de Ahorro de Agua

- Se pudo comprobar que tanto los 64 más los 5 (Plan Piloto) centros educativos intervenidos, el 83% de éstos (57 casos), cuando se les efectuaron los aforos, tenían fugas internas..
- El valor promedio obtenido al medir la magnitud de las fugas detectadas, se comprobó que fue de 450 litros / hora, lo que representa un consumo de 326 m<sup>3</sup> al mes (54 estañones día), la fuga de mayor valor correspondió a 1100 m<sup>3</sup>/mes (1530 L/h).
- Con los datos obtenidos y aplicando una proyección a los 267 centros educativos, se tenía una estimación del agua consumida por fugas de una magnitud de los 72.000 m<sup>3</sup>/mes (setenta y dos millones de litros).

Los resultados logrados en esta segunda fase, se resumen en el cuadro No 1, destacándose el ahorro de agua alcanzado de un 40,4% previo y posterior a las acciones correctivas realizadas. Así mismo se hace una proyección con los 267 centros educativos de la Región Metropolitana, fundamentada en los 69 casos intervenidos (5 del Plan Piloto y 64 de la segunda fase) cantidad que corresponde al 25,8% de la muestra.

**Cuadro No. 1**

**Cuadro comparativo entre las dos situaciones: antes y después del proyecto de mejoras y ahorro de agua en centros educativos públicos de la Región Metropolitana febrero 2006**

a. Total de centros educativos públicos en Región Metropolitana: 267 b. Promedio de estudiantes por centro educativo: 900	Estimación consumo de agua de los 267 centros educativos de la RM m <sup>3</sup> /mes	Estimación demanda caudal de los 267 centros educativos de la RM en litros por segundo	Estimación consumo promedio por estudiante en m <sup>3</sup> /mes	Estimación Consumo promedio por estudiante por día lectivo en litros	Facturación estimada / mes por 800 m <sup>3</sup> /mes y 480 m <sup>3</sup> /mes (40% ahorro) El 55% de los centros educativos no cuentan con alcantarillado sanitario. Cifras en colones (¢)	Facturación estimada / mes por 800 m <sup>3</sup> /mes y 480 m <sup>3</sup> /mes (40% ahorro). El 45% de los centros educativos cuentan con alcantarillado sanitario. Cifras en colones (¢)	Facturación global de los 267 centros educativos en millones de colones (¢), factura promedio ¢169291 y ¢101899 respectivamente para las dos situaciones.
--	---	--	---	--	---	---	---

Continúa... 

VALORES ANTES DEL PROYECTO DE AHORRO Con base a un consumo promedio por centro educativo de 800 m3/mes	213600 m3/mes	82,4 litros/seg.	890 lit/est/mes	40,4 lit/est/día	¢151,956.00	¢190,478.00	¢45,200,697.00
VALORES POSTERIOR AL PROYECTO DE AHORRO Con base a un consumo promedio por centro educativo 476 m3/mes (40,4% ahorro)	127092 m3/mes (ahorro 40,44%)	49,0 litros /seg.	530 lit/est/mes	24,1 lit/est/día	¢91,476.00	¢114,638.00	¢27,207,006.00
Diferencias mensuales	85440	32.5	0.36	17.8	¢60,480.00	¢75,840.00	¢17,993,691.00
Diferencias anuales de ahorro de agua	1,03 millones de m3, para abastecer 3.418 familias		4,1 m3	4.100 litros	¢725,760.00	¢910,080.00	¢215,924,290.00

Fuente: Elaboración propia. Departamento de Medición

## Convenio AyA-MEP

Con los datos proyectados sobre el ahorro de agua y los beneficios obtenidos que se muestran en el cuadro No 1, se informó a la Dirección Comercial Metropolitana, Gerencia General y la Junta Directiva, se concluye esta ruta con la firma el 28 de julio del 2006 entre el Presidente Ejecutivo del Instituto Costarricense de

Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Ministro de Educación Pública del convenio denominado "Convenio para el pago de las Cuentas por Cobrar por Concepto de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario que Abastecen los Centros Educativo Públicos del Ministerio de Educación Pública" conocido posteriormente como Convenio AyA-MEP.

## Aspectos más relevantes del Convenio

1. Se acordó un arreglo de pago en el cual el Ministerio de Educación Pública (MEP), se comprometió ante el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) a pagar en cinco tramos anuales iguales el pendiente de pago que a esa fecha acumulaba €609 millones.

2. El Ministerio de Educación Pública (MEP) se compromete a pagar al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) en factura única el servicio brindado de agua potable y alcantarillado sanitario (donde corresponda) de los centros educativos públicos atendidos por el Instituto.

3. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) se compromete a desarrollar programas de concientización sobre el uso racional y eficiente del recurso hídrico a efectuar inspecciones técnicas y diagnósticos, así como recomendaciones que conduzcan a mejoras y al ahorro del agua que incluya programas de mantenimiento correctivo y preventivo.

Actividades desarrolladas a través del Convenio AyA-MEP:

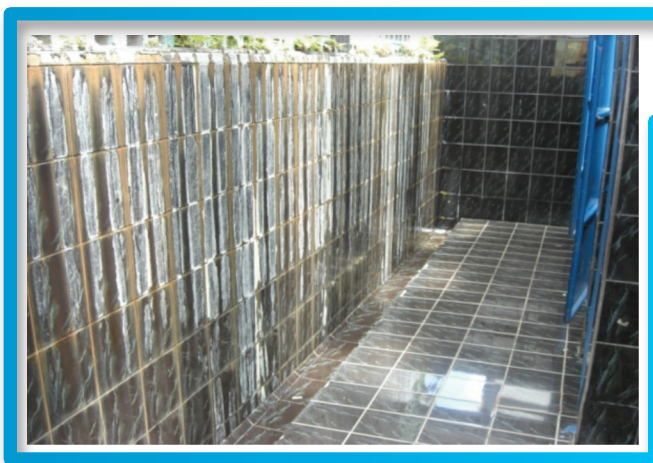
α) Capacitación a los funcionarios encargados de las Regionales y Región Metropolitana sobre la responsabilidad adquirida para el debido cumplimiento por parte del AyA en cada una de cláusulas del Convenio.

β) Ejecución de las mismas actividades desarrolladas en el Plan Piloto y la segunda fase del Plan de Ahorro de Agua, con la asistencia técnica solicitada, como aforos, revisiones técnicas, recomendaciones sobre mejoras a ejecutar, tecnologías a ser aplicadas, cambios de redes, etc.

χ) Todas estas actividades técnicas y operativas del Convenio y la información correspondiente fue (es) canalizada a la Oficina de Cobros Especiales, de la Dirección Comercial de la Gran Área Metropolitana (GAM), encargados a nivel nacional de coordinar la facturación y cobro al Ministerio de Educación Pública (MEP) de estos servicios, entre otros clientes gubernamentales.

## Figuras sobre uso de tecnologías y mejoras realizadas en algunos centros educativos para el ahorro del agua

A continuación se detallan mediante las figuras correspondientes, las mejoras realizadas en varios educativos públicos, donde se aplicaron soluciones tecnológicas para reducir el consumo de agua potable en los sistemas mecánicos de la red. La fotografía No 10, muestra un orinal tipo “cascada” de la Escuela Central de San Sebastián, se aprecian incrustaciones de Carbonato de Calcio en la pared (manchas claras), que evidencian consumo permanente de agua; en la fotografía No 11, se aprecia dicho orinal modificado en mingitorios (orinal para varones) libres de agua (“water free”).



**Fotografía No. 10: Orinal tipo “cascada” de la Escuela Central de San Sebastián, se aprecian incrustaciones de Carbonato de Calcio en la pared (manchas claras), que evidencian consumo permanente de agua**

Experiencia del convenio... - Lic. Rolando Araya, Licda. Alicia Canales



Fotografía No. 11: Orinal modificado en mingitorios (orinal para varones) libres de agua (“water free”)



Fotografía No. 13: Orinal con válvula temporizada, Escuela Betania. Una nueva construcción



Fotografía No. 12: Orinal tipo mingitorio “water free”, Escuela Juan E. Pestalozzi Antes orinal tipo “cascada”



Fotografía No. 14: Pileta para limpieza de trapo piso tradicional, con llave de chorro



Fotografía No. 15: Pileta para limpieza de trapo piso, con válvula automática, en Escuela Maiquetía



Fotografía No. 17: Instalación de una nueva red de distribución en la Escuela Benjamín Herrera



Fotografía No. 16: Servicio sanitario con válvula temporizada tipo fluxómetro en Escuela Omar Dengo

Otra importante actividad que trajo el Convenio a los centros educativos, fue la eliminación de redes antiguas de agua potable, la mayoría de hierro galvanizado de 12,7 mm de diámetro, insuficientes para abastecer la demanda total requerida por tantas personas, lo cual provoca serios problemas de abastecimiento y adecuada higiene, estas tuberías obstruidas y/o corroídas fueron reemplazadas por nuevas tuberías de plástico (PVC), de mayor diámetro tanto para ramales principales como secundarios, las fotografías 17 y 18 ilustran lo indicado.



Fotografía No. 18: Instalación de una nueva red de tubería "madre" y ramales secundarios Escuela Benjamín Herrera

Experiencia del convenio... - Lic. Rolando Araya, Licda. Alicia Canales

La siguiente fotografía No.19 muestran el uso de nuevas pilas y dispositivos automáticos ahorradores de agua, instalados en la Escuela Concepción de Alajuelita, se aprecia una excelente higiene, agradable aspecto de nuevas instalaciones, en un centro educativo de atención prioritaria, sin duda un cambio hacia la excelencia.



**Fotografía No. 19: Uso de nuevas pilas y dispositivos automáticos ahorradores de agua, instalados en la Escuela Concepción de Alajuelita**

### Conclusiones generales

1. Si bien es cierto, el cuadro No 1 muestra una reducción en la facturación de ¢17,9 millones por mes (columna 8), este impacto no tenía repercusión negativa real en los ingresos del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), debido a que la morosidad del 83% de los centros educativos era más perjudicial; en todo caso este importante ahorro de agua logrado, luego de implementarse el Convenio ha permitido al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) comercializar esta agua ahorrada para atender otros clientes domiciliarios y comerciales.

2. Se logró por parte de los centros educativos una nueva cultura de mantenimiento, comenzaron a adoptar e implementar prácticas correctivas y preventivas para mantener en buen estado de funcionamiento y libre de fugas las redes de agua potable, lo que antes no se hacía en la mayoría de los centros educativos.

3. Se identificaron las áreas y actividades del centro educativo donde ocurren los mayores consumos de agua, con el fin de darles prioridad en el esfuerzo y recursos, para realizar las mejoras, modificaciones, reparación de fugas y daños, que permitan un mayor beneficio con el ahorro de agua.

4. Se ha logrado mantener hasta la fecha vigente el Convenio desde su aprobación en el año 2006 (seis años), lapso en el cual se han incluido más centros educativos a la lista, lo que demuestra que la iniciativa y el sostenimiento a este esfuerzo por parte de ambas instituciones ha sido acertado y exitoso.

5. Se debe reconocer el esfuerzo del Ministerio de Educación Pública, para cumplir su parte en el Convenio, la responsabilidad de haber honrado el pago total del pendiente (¢609 millones), así como el pago cada mes de la factura de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, abastecidos por Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) a los centros educativos públicos a nivel nacional.

6. El beneficio económico en los ingresos que el Instituto ha obtenido a través del Convenio AyA-MEP, dado que, antes de éste la facturación mensual era de aproximadamente ¢19 millones (a nivel nacional); sin embargo para junio de 2012, los ingresos recibidos fueron de aproximadamente ¢90,6 millones mensuales. Si se tratara de cuantificar estos beneficios extras, producto del Convenio a lo largo de los últimos seis años seis años, incluida la cancelación del pendiente de ¢609 millones, El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ha percibido ingresos del orden de los cuatro mil millones de colones (¢4.000.000.000), cifra nada despreciable, sobre todo si se considera lo que hubiese ocurrido de haberse aprobado el proyecto de ley que pretendía eximir de todo pago por servicio de agua y alcantarillado sanitario a los centros educativos públicos de este país.

7. Gracias a las mejoras realizadas y al ahorro de agua logrado en los centros educativos, el porcentaje de un 83% de centros educativos en los que antes se detectaron fugas internas, se redujo a menos de un 10%, lo cual es esperable si tomamos en cuenta que técnicamente en toda red de agua potable siempre hay una tendencia a la formación de fugas, por el deterioro de los sellos de hule de la grifería.

8. Sin duda se ha logrado alcanzar en los centros educativos públicos, un nivel de mayor conciencia y valoración hacia el recurso hídrico, tanto en los estudiantes como en el personal docente y administrativo, que se ve reflejado en reparaciones más oportunas de las fugas, instalación de dispositivos ahorradores de agua, conformación de los "Vigilantes del Agua" en muchas escuelas, programas estudiantiles que pretenden motivar y despertar en la niñez un mayor compromiso en el cuidado del medio ambiente, del recurso hídrico no sólo en los centros educativos, sino también en los propios hogares de los estudiantes.



**Fotografía No. 20: Visita de Vigilantes del Agua al Laboratorio Nacional de Hidrómetros**

9. Esta experiencia permitió conocer y establecer parámetros de consumo razonables, pues se pasó de un consumo promedio de 40 a 24 litros de agua por estudiante por día (890 a 530 ver cuadro No 1); sobre

este nuevo promedio de consumo de agua se sustentó dicho Convenio, quedando abierta la posibilidad a toda iniciativa adicional, no sólo con respecto a la obligación de corregir fugas, sino para utilizar tecnologías disponibles para incrementar aún más el ahorro del agua, como lo han venido haciendo muchos centros educativos.



**Fotografía No. 21: Vigilantes del Agua en el Plantel Carlos Segura de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Uruca**

10. Partiendo de los datos obtenidos del Plan Piloto y la segunda fase de 64 intervenciones, donde se estimó un ahorro de agua aproximado a 326 m<sup>3</sup>/mes (40,4%) en el 83% de los centros educativos, si se proyectara este valor a los 957 centros educativos, se tendría una disponibilidad de agua por ahorro de aproximadamente 262.500 m<sup>3</sup> mensuales, agua suficiente para atender la demanda de 12.000 familias.

Toda esta experiencia debería dejar una lección aprendida y de motivación, es importante proponerse metas, perseverar en ellas y concretarlas, más aún cuando se trata de proyectos que tienen como fin el beneficio colectivo, donde media el interés social por sobre todo, en este caso en particular por la responsabilidad que todos tenemos de cuidar más el recurso hídrico, día a día menos accesible para el consumo humano, el agua es vital para el desarrollo, la salud, el bienestar y la vida misma; para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) significa el cumplimiento de su misión ante la sociedad costarricense, para lo cual fue creada.

### Recomendaciones finales

1. Velar para que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) mantenga el debido cumplimiento de las cláusulas del Convenio (AyA-MEP) que le atañen, de manera que por su parte, el Ministerio de Educación Pública mantenga su compromiso de pago, y ejerza su control sobre las Juntas Educativas y Administrativas de los centros educativos públicos, en el sentido de mantener ( con la asesoría técnica del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), todas sus instalaciones de agua potable en buenas condiciones, y de conformidad con una política permanente de ahorro del recurso hídrico. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) plantea que este esfuerzo debe ser llevado a cabo de manera conjunta entre la Oficina de Cobros Especiales de Sistemas GAM, la Dirección de Desarrollo Tecnológico con su Unidad Asesoría Integral para el Uso Óptimo del Agua Potable, y los Sistemas Periféricos con sus áreas operativas técnicas designadas.

2. Se recomienda a la Dirección de Desarrollo tecnológico, mantener un seguimiento en la investigación de nuevas tecnologías y sistemas que permitan ser implementadas en los centros educativos, a fin de lograr mayores índices de ahorro de agua, como por ejemplo nuevos sistemas automatizados, servicios sanitarios de bajo consumo, uso de agua de lluvia, etc.

3. Debido a los importantes logros alcanzados a través de esta experiencia de trabajo, que culminó con el Convenio

AyA-MEP y los beneficios ya indicados, se hace necesario extenderla al resto de las instituciones gubernamentales, dado que es muy posible que en materia de uso racional de ahorro de agua potable, no se tengan las mejores acciones correctivas o preventivas, sería importante en esto, empezar a lo interno del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), y extenderlo luego a otros ministerios e instituciones de gobierno.

4. Que el AyA mantenga su política de realizar evaluaciones del consumo de agua en los centros educativos en épocas de vacaciones, mediante la realización de aforos, tendiente a detectar la existencia de fugas y tomar las acciones correctivas.

5. Mantener vigente el Convenio que cumple seis años, en el cual se han incorporado otros centros educativos, ajustándose al programa establecido y a la fecha el MEP se encuentra al día con el pago de sus obligaciones por el servicio de agua.

6. Continuar con el seguimiento en materia de nuevas tecnologías y sistemas, que permitan alcanzar niveles de ahorro superior a lo logrado a la fecha, garantizando un manejo más eficiente del recurso hídrico y la mejora de las redes de abastecimiento de agua potable en los centros educativos públicos.

### Agradecimiento

A los compañeros señores Allan Roda, Cristhian Cordero, Eduardo Moya, Rolando Campos, Steven Rojas, que hicieron posible en trabajo en el campo, al Ing. Franklin Chavarría, Srta. Noelia Pérez, Sra. Paola Uba, Sra. Yaudieth Lépez y a todos los colaboradores del Taller y Laboratorio de Hidrómetros, a la Licda. Marjorie Ugalde, funcionaria Cobros Especiales y sus colaboradores, a la Licda. María Eugenia Agámez, Sra. Adina Canales, Lic. Roosevelt Alvarado y su equipo de Sistemas Periféricos, de una manera especial a los MBA. Olier Quirós y Heibel Rodríguez por apoyar y llevar el proyecto a Junta Directiva, también a la Licda. Adriana Zamora, Lic. Luis Alvarado por su apoyo, Licda. Elvira Guevara por guiarnos con el artículo y Msc. Olier Quirós Valverde.

## Bibliografía

1. Alejandro, A. Estrada E.1986. El agua: un don natural. Medellín, Colombia: s.n.
2. Bourguett Ortiz, V. J; Casados Prior, J. A.; Mireles Vázquez, V. H.; González Soberanis, E. ; Hansen Rodríguez, M. P. ; Buenfil Rodríguez, M.O.; Cervantes Quintana , M. T. 2003. Manual para el uso eficiente y racional del agua ¡Utiliza sólo la necesaria. México : IMTA. Consultado el 15 de noviembre 2011. Disponible en: <http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Reducción%20de%20la%20Demanda/Manual%20Uso%20eficiente%20y%20racional%20del%20agua.pdf>
3. Canales, A. ; Camacho, V. 2004. Análisis del comportamiento del consumo de agua potable en las comunidades educativas: Escuela Manuel Belgrano y Escuela Omar Dengo; mediante la modificación de conductas que atentan contra el uso racional del agua potable, así como implementar las mejoras en las instalaciones mecánicas. San José,C.R.
4. Costa Rica. Contraloría General de la República. 2006. Informe del estudio efectuado en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A), en relación con las condonaciones de deuda realizadas por ese Instituto a Juntas de Educación de Escuelas y Colegios Públicos, según lo dispuesto por la Ley No. 7981. Costa Rica : CGR. Consultado el 15 de noviembre 2011. Disponible en: [http://www.asamblea.go.cr/Informes\\_de\\_la\\_Contraloria/Informes%202006/Informes\\_2006/Informes\\_Julio\\_2006/DFOE-PR-15-2006.pdf](http://www.asamblea.go.cr/Informes_de_la_Contraloria/Informes%202006/Informes_2006/Informes_Julio_2006/DFOE-PR-15-2006.pdf)
5. Delgado, G. C. 2006. El capitalismo verdadero causante de la “Crisis del agua”. Disponible a texto completo. s.l: Ediciones la jornada. Consultado el 15 de noviembre 2011. Disponible en: <http://es.internationalism.org/book/export/html/2074>



# AGUAS RESIDUALES

# Revisión de los límites de DBO y SST especificados para el agua tratada de la primera etapa de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Los Tajos

## RESUMEN

El Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José, creado para tratar las aguas residuales del Área Metropolitana, incluye la red de tuberías colectoras y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos (denominada en adelante PTAR o PTAR Los Tajos), para la depuración de esas aguas antes de su descarga final al Río Torres en la primera etapa y eventualmente también al Virilla en etapas posteriores.

Originalmente la referencia para especificar el rendimiento de la PTAR había sido el porcentaje de remoción de los dos principales parámetros de diseño de este tipo de sistemas: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Tal referencia se basaba en un estudio de asistencia del Banco del Japón para la Cooperación Internacional (JBIC por sus siglas en inglés), pero ésta no era correspondiente con la forma estándar de medir y reglamentar la calidad del efluente de sistemas de tratamiento de aguas, que es por límites máximos permitidos.

Por lo anterior, en el Cartel de Licitación de la PTAR Los Tajos se optó por variar la forma original de especificar el rendimiento exigido en la PTAR y se establecieron límites máximos permitidos en el agua tratada. El presente estudio se efectuó antes de la publicación del Cartel con el objetivo de determinar que los límites establecidos son factibles de alcanzar con el empleo de sistemas de sedimentación primaria convencionales y sin el empleo de reactivos.



<sup>1</sup> Olman Jiménez Rodríguez

**Palabras clave:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Los Tajos, Proyecto de Mejoramiento Ambiental, Aguas residuales, Sólidos suspendidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno.

## ABSTRACT

The Environmental Improvement Project of Greater San Jose, created to treat wastewater Metropolitan Area, including the network of gathering lines and Treatment Plant Waste Water Cuts (hereinafter referred WWTP WWTP or Los Tajos), for debugging these waters before final discharge to the Rio Torres in the first stage and eventually to Virilla in later.

Originally a reference to specify the performance of the WWTP was the removal percentage of the two main design parameters of such systems: Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Total Suspended Solids (TSS).

<sup>1</sup> Ing. Civil, Máster en Dirección y Gestión Medioambiental. Unidad Ejecutora AyA-JBIC. oljimenez@aya.go.cr.

This reference was based on a study of Bank assistance of Japan International Cooperation (JBIC for its acronym in English), but this was not relevant to the standard way of measuring and regulating the quality of effluent water treatment systems, which is maximum allowable limits.

Therefore, at the bidding of the WWTP The Tajos was decided to vary the original form of specifying the performance requirements of the WWTP and established maximum allowable limits in the treated water. This study was conducted before the publication of the poster in order to determine what the limits are feasible to achieve with the use of conventional primary sedimentation systems without the use of reagents.

**Keywords:** Plant Wastewater Treatment - The Pits, Environmental Improvement Project, Sewage, total suspended solids, biochemical oxygen Dmanda.

## Introducción

La futura Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos (denominada en adelante PTAR o PTAR Los Tajos) forma parte del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José. En ella se tratarán todas las aguas residuales de una población de 1.070.000 personas en la primera etapa (2015) y de 1.600.000 al completar el proyecto (2025), a lo que corresponden caudales promedio de 2,81 m<sup>3</sup>/s al 2015 y 4,26 m<sup>3</sup>/s al 2025.

La PTAR estará ubicada en La Uruca, en la margen derecha del Río Torres, aproximadamente a 3,5 km del Hospital México sobre la carretera que comunica con la ciudadela La Carpio.

Mediante el Decreto N° 239 del martes 7 de diciembre del 2004 del Ministerio de Salud y del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, actual Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones), se permite el cumplimiento gradual de los límites de vertido para el efluente de la PTAR. Tal decreto no indica rendimientos específicos, límites máximos permisibles, ni valores de remoción, solo menciona de forma general que será alcanzado gradualmente lo exigido en la normativa, misma que ahora corresponde al Decreto

33601-MINAE-S, Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (en adelante Reglamento de Vertido).

Hasta mediados del 2009 se estuvieron divulgando valores de rendimiento de 40% de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y 50% de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para la primera etapa de la PTAR, establecidos en el Informe Final del JBIC de Asistencia Especial para la Formulación de Proyectos (SAPROF por sus siglas en inglés) de setiembre del 2004, que establecía: "Se estima que la eficiencia del tratamiento es de aprox. 40% para la eliminación de DBO5 y de 50% para la eliminación de SS" (página 4-36, apartado 2, "Tratamiento primario").

Manejando este concepto, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) presentó ante el Ministerio de Salud un Plan de Acción del Proyecto en enero del 2005. En tal documento se estipulaban tales porcentajes de remoción (40% de DBO y de 50% de SST), los que también se especifican en Acuerdo de Junta Directiva 2006-512 del AyA como rendimientos aproximados.

Aparentemente por simplificación en el manejo de datos, con el paso del tiempo se fue perdiendo la esencia del texto original del informe SAPROF de que los porcentajes de remoción ahí estipulados eran estimaciones aproximadas. Además de la idea de que eran valores definitivos, también se fue asentando la visión de que la eficiencia del sistema era medida a través de los porcentajes de remoción.

Sin embargo, convencional y reglamentariamente las remociones en sistemas de tratamiento de aguas residuales se miden en términos de límites máximos permitidos, no en función del porcentaje de rendimiento del sistema. Lo que tiene sentido porque lo que se pretende es mantener una calidad conveniente del agua tratada siempre por debajo de un límite conveniente y fácil de controlar.

Por tanto, se descartó la referencia a porcentajes de remoción y en su lugar se especificaron límites máximos de vertido correspondientes a valores escalares fijos que deben cumplirse en todo momento de operación de la PTAR.

Dado que, según los alcances del Cartel, en esta primera etapa de la PTAR el agua se tratará vía sedimentación primaria y sin el uso de reactivos, los dos tipos de sedimentadores posibles a instalarse son los convencionales y los lamelares. Por contar los lamelares con menores requerimientos de superficie para dar la

misma calidad de tratamiento que los convencionales, son estos últimos los que se estudian para efectos de establecer que los límites seleccionados sean posibles de alcanzar sin el empleo de reactivos químicos o sobredimensionamientos.



Fotografía No. 1: Sedimentadores circulares

### Método de tratamiento en la PTAR

La PTAR operará mediante el sistema denominado lodos activados convencional. El sistema completo se compondrá de unidades de pretratamiento (pozo de gruesos, rejillas, desengrasadores y desarenadores), sedimentadores primarios, reactores de aeración y sedimentadores secundarios. Adicionalmente tendrá el tratamiento completo de lodos (espesamiento, digestión anaerobia y deshidratación) y el sistema de cogeneración eléctrica a través del biogás producido en los digestores.

Para la primera etapa de la PTAR, por aspectos financieros, en la línea de agua se implementarán solamente el pretratamiento y los sedimentadores primarios; mientras que la línea de lodos y de recuperación de energía sí se implementarán completas. Las siguientes etapas suponen la ampliación del sistema y la implementación del tratamiento biológico vía lodos activados convencionales (cuyos elementos principales

serán los reactores de aeración y sedimentadores secundarios).

Los diseños finales, construcción, equipamiento, pruebas, puesta en servicio y transferencia tecnológica de la primera etapa de la PTAR serán asignados por licitación a un solo Adjudicatario, el cual deberá presentar como parte de sus servicios un Plan Maestro para la totalidad del proyecto, de forma que se garantice que cada etapa, además de cumplir con sus requisitos específicos, encajará con el resto de etapas con el afán de alcanzar los requerimientos de tratamiento exigidos al final del proyecto.

En atención al cumplimiento gradual que permite el Decreto 239, hasta la implementación del tratamiento biológico se alcanzarán, e incluso superarán, los niveles de tratamiento exigidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.



Fotografía No. 2: Batería de sedimentadores rectangulares

### Principales parámetros fisicoquímicos empleados para medir el rendimiento de la PTAR

Por convencionalismo, en el campo de la ingeniería sanitaria los dos principales parámetros para medir la eficiencia operativa de los sistemas depuradores de aguas residuales domésticas son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). Los valores promedio de estos parámetros en el agua cruda que ingresará a la PTAR se muestran en la tabla 1.

**Tabla No. 1**  
**Promedios de SST y DBO en el agua residual a la entrada a PTAR (1)**

Parámetro	Tiempo seco	Tiempo lluvioso
SST (mg/l)	290	222
DBO (mg/l)	270	236

Fuente: Estimación del AyA basada en campañas de muestreo efectuadas entre el 2001 y el 2003.

### Límites máximos propuestos para descarga de la PTAR en la Primera Etapa

Los límites máximos de descarga de SST y DBO para el efluente de la PTAR exigidos en el Cartel, y seleccionados por terceros antes de este estudio, se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla No. 2**  
**Límites máximos de descarga propuestos en agua tratada de la PTAR Etapa I**

Parámetro	Límite máximo permitido
SST	145 mg/L
DBO	184 mg/L

Esto representa, respecto al promedio a la entrada en época seca (tabla 1), un 50% de remoción de SST y un 32% respecto a DBO.

### Generalidades de la remoción en sedimentadores

El objetivo del proceso de sedimentación es la eliminación de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. En casos como los de las aguas residuales domésticas, en las cuales los sólidos en suspensión son de naturaleza orgánica y generan DBO, en el proceso de sedimentación va a tener lugar, además de la eliminación de estos, la disminución de DBO asociada a dichos sólidos. Esto redundará en unos procesos biológicos posteriores de menor tamaño y una reducción del consumo energético.

Por no ser el objetivo de la sedimentación primaria disminuir el DBO, normalmente un sedimentador primario se diseña para remover una determinada cantidad de SST. La remoción de DBO que se obtenga no es condicionante del diseño en estos procesos, por ser un parámetro totalmente controlable en la etapa biológica. Sin embargo, para garantizar una calidad mínima de tratamiento, en la primera etapa de la PTAR

Los Tajos se ha escogido limitar la descarga de este parámetro también.

## Registro de rendimientos de la sedimentación convencional

Los sedimentadores primarios deben ser capaces de remover entre un 50 y un 70 por ciento de SST, a lo que corresponde un rango de remoción de entre 25 y 40 por ciento de DBO (ref. 4, p. 539), dependiendo de la caracterización de las aguas residuales tratadas, considerándose lo común de un 30 a 35 por ciento (ref. 5, p. 406). Dentro de estos rendimientos típicos están los estimados sugeridos en el informe SAPROF.

Sin embargo, el porcentaje de remoción de carga contaminante en sedimentadores no es constante, pues presenta dos particularidades:

1. A mayor tiempo de residencia del agua en el sedimentador, el porcentaje de remoción aumenta. [Esto se cumple hasta aproximadamente 4 horas de retención, a partir de lo cual la eficiencia tiende a estancarse].

2. A mayor grado de contaminación del agua afluente, el porcentaje de remoción aumenta. [Mas no necesariamente la calidad del agua tratada es mejor].

En las tablas 3.A y 3.B se presentan porcentajes de remoción y valores de descarga de SST y DBO en función de su concentración inicial y del periodo de retención, los cuales fueron extraídos de curvas promediadas. Se identifican por escalas de colores los diferentes rangos de remoción según detalle al pie de cada cuadro.

**Tabla No. 3**  
**Rendimiento de la sedimentación primaria convencional en función de la concentración y el periodo de retención (adaptado de referencias 1 y 3)**

### 3.A Rendimiento respecto a SST

% DE REMOCIÓN	Tiempo de retención (h)				VALORES DE DESCARGA (mg/l)	Tiempo de retención (h)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
SST influente (mg/L)					SST influente(mg/L)				
50-100	35%	45%	52%	55%	50	33	28	24	23
100-200	44%	54%	57%	61%	100	56	46	43	39
<b>200-300 (1)</b>	<b>50%</b>	<b>59%</b>	<b>64%</b>	<b>66%</b>	200	100	82	72	68
300-400	53%	63%	67%	69%	<b>222 (2)</b>	<b>111</b>	<b>91</b>	<b>80</b>	<b>75</b>
					<b>290 (3)</b>	<b>145</b>	<b>119</b>	<b>104</b>	<b>99</b>
					300	150	123	108	102

(1): Rango de ubicación de valores de afluente a PTAR según tabla 1.

(2): Valor de ingreso en tiempo lluvioso a PTAR.

(3): Valor de ingreso en tiempo seco a PTAR.

Rangos de eficiencia:

Superior o igual al 50%

Inferior al 50%

Valor de SST efluente:

Inferior o igual al límite propuesto (145 mg/L)

Superior al límite propuesto (145 mg/L)

### 3.B Rendimiento respecto a DBO

% DE REMOCIÓN	Tiempo de retención (h)				VALORES DE DESCARGA (mg/l)	Tiempo de retención (h)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
DBO influente (mg/L)					DBO influente (mg/L)				
50-100	19%	27%	32%	35%	50	41	39	37	37
100-200	23%	33%	37%	41%	100	81	73	68	65
<b>200-300 (1)</b>	<b>26%</b>	<b>35%</b>	<b>42%</b>	<b>44%</b>	<b>236 (2)</b>	<b>175</b>	<b>153</b>	<b>137</b>	<b>132</b>
300-400	28%	38%	43%	46%	<b>270 (3)</b>	<b>200</b>	<b>176</b>	<b>157</b>	<b>151</b>
					300	222	195	174	168

(1): Rango de ubicación de valores promedio en PTAR según tabla 1

(2): Valor de ingreso en tiempo lluvioso a PTAR

(3): Valor de ingreso en tiempo seco a PTAR

#### Rangos de eficiencia:

Superior al 40%

Entre 30% y 40 %

Inferior al 30%

#### Valor de DBO efluente:

Inferior o igual al límite propuesto (184 mg/L)

Superior al límite propuesto (184 mg/L)

Según los cuadros anteriores, en el rango típico de periodos de retención empleados en sedimentación primaria (de 2 a 3 horas), para el SST es fácilmente alcanzable el 50% de remoción que estima el informe SAPROF independientemente de la concentración influente. Mientras, en el caso de la DBO, el 40% de remoción estimada es factible alcanzarlo solo para concentraciones altas en tiempos de retención iguales o superiores a 3 horas, que se consideran altos en sedimentadores convencionales.

Los límites sugeridos se han cotejado también con los resultados de las tres pruebas de simulación efectuadas por el Laboratorio Nacional de Agua en muestras tomadas en los colectores del Área Metropolitana (ref. 6); estas determinaron que, para rangos de carga dentro del que está el del afluente a la PTAR, para un tiempo de retención de 2 horas el rendimiento en remoción de SST y DBO baja solo un 4% respecto a lo indicado en las tablas 3.A y 3.B. Si tomamos en cuenta este leve decremento detectado en pruebas de laboratorio, se observa que se mantiene el criterio de que en el tiempo de retención normal de entre 2 y 3 horas se pueden alcanzar las remociones de 184 mg/L de DBO y 145 mg/L de SST establecidos en el Cartel.

### Conclusiones

El Reglamento de Vertido establece límites máximos permitidos como forma de control de la calidad de tratamiento, lo que tiene sentido en tanto el fin primordial del tratamiento de aguas es lograr valores de descarga que denoten baja contaminación, siendo el porcentaje de remoción en el sistema solo un indicador interno de cómo el medio empleado opera para llegar a esos valores de descarga.

De los valores de descarga obtenidos en las tablas 3.A y 3.B, se observa que para un tiempo de retención dado, el valor de descarga siempre es menor conforme baja la carga contaminante. Se demuestra que, aunque el sedimentador tenga un menor porcentaje de rendimiento cuando hay menor concentración de contaminantes en el afluente, rinde lo suficiente como para generar los mejores valores de descarga y, por tanto, no es necesario exigir para todos los casos un alto porcentaje de rendimiento para tener alta eficiencia de tratamiento y cumplir con los límites de vertido.

Por lo anterior, el exigir que se generalice el porcentaje de remoción requerido para la carga promedio para todas las condiciones de operación va en contra de las particularidades operativas de la sedimentación primaria. Implica subir los tiempos de retención y consecuentemente aumentar el volumen de los tanques solo para alcanzar esos rendimientos porcentuales en los momentos menos necesarios: cuando a la PTAR llega el agua menos contaminada y el tratamiento rinde lo suficiente como para que, de por sí, se descarguen las aguas tratadas con el menor índice de contaminación.

La composición del agua residual que entrará a la planta es variable dependiendo de la época del año, como se observa al comparar promedios para la época seca y lluviosa. En consecuencia, la carga contaminante es menos crítica en época lluviosa y se requiere por ello menos rendimiento y tiempo de retención para darle un adecuado tratamiento al agua residual.

El Plan Maestro para la totalidad de la PTAR, a presentar por el adjudicatario de la primera etapa, debe garantizar que el diseño de la sedimentación primaria encajará con las etapas futuras y que con ello se cumplirán los requerimientos exigidos al final del proyecto. Por tanto, establecer límites máximos permitidos acordes al rendimiento estándar de sedimentadores primarios favorece un adecuado balance de inversión entre etapas.

En el contexto que nos ocupa, por ser la sedimentación primaria un proceso físico, no biológico, su propósito esencial es la remoción de SST. La eliminación de DBO es un beneficio paralelo de esta etapa que no es condicionante de su diseño, pues este es un parámetro biológico para cuyo control está concebido el tratamiento secundario. Por tanto, el sobredimensionar los sedimentadores primarios para eliminar en todo momento un alto porcentaje de DBO, igual o superior al 40% como originalmente se interpretó del estudio SAPROF, acarrea sobrecostos en instalación y operación.

Dado que el Decreto 239 permite cumplimiento gradual en el vertido, no viene al caso asumir en esta etapa tales sobrecostos si está claro que trasladando esa inversión a etapas posteriores, una vez en funcionamiento la parte biológica del tratamiento, se alcanzará una depuración incluso superior a lo exigido por el Reglamento de Vertido.

Con lo anterior presente, se verifica que se han escogido límites de vertido que garantizan un tratamiento primario balanceado, sin sobrecostos constructivos ni operativos, acorde con lo indicado en las referencias y la experiencia, y que coadyuvará al sistema biológico posterior a terminar de depurar las aguas para sobrepasar incluso el Reglamento de Vertido (se especifican, completado el sistema, límites de 30 mg/L para DBO y SST, cuando el Reglamento exige 50 mg/L para ambos).

## Agradecimientos

A los muestreadores, técnicos y especialistas del Laboratorio Nacional de Aguas, en especial al Lic. José Miguel Ramírez, quien colaboró proactivamente en la programación de los muestreos y análisis fisicoquímicos complementarios a este trabajo. A los ingenieros Suelen Ramírez y Carlos González por sus funciones logísticas durante la toma de muestras.

## Bibliografía

1. Crites, R.; Tchobanoglous, G. 2000. Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados. E.U.: Mc Graw Hill.
2. Degrémont. 1995. Water Treatment Handbook. 7a.ed. Francia: Degrémont,
3. Hernández M., A. 1998. Depuración de Aguas Residuales. España: UPM.
4. Metcalf, L.; Eddy, H. P. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales. 3a.ed. E.U.: Mc Graw Hill,
5. Sainz, J. A. 2005. Tecnologías para la sostenibilidad. España: Colección EOI Medio Ambiente.
6. Valiente, C.; Ramírez, J. M. ... [et. al]. 2009. Determinación sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica y sólidos por medio de una operación de sedimentación primaria en aguas ordinarias. Tres Ríos, C.R.: LNA.

# Proyecciones de balances hídricos de las 34 cuencas hidrográficas de Costa Rica para el período 2071-2100

## RESUMEN

El presente estudio permite aproximar el valor de la escorrentía por cuenca hidrográfica para el período 2071-2100, como punto de comparación se tienen los valores de escorrentía a partir de los resultados de los balances hídricos realizados entre el año 2008 y el 2010.

Las proyecciones para final de siglo de los parámetros que están relacionados con la escorrentía, se calcularon a partir de proyecciones climáticas generadas mediante modelos climáticos globales y regionales.

Como valores actuales de escorrentía se utilizaron los resultados de los balances hídricos de las 34 cuencas hidrográficas del país, 15 de ellas fueron estudiadas por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) en el año 2008, mediante el método para generar balances establecido por la UNESCO, las restantes 19 fueron estudiadas por parte de CIESA (Centro de Estudios Económicos y Ambientales) en el año 2010, mediante un método con base en las zonas de vida de Holdridge (precipitación y altura).

No existe uniformidad en la metodología para determinar los balances hídricos debido a que no todas las cuencas tienen suficiente información meteorológica, de distribución y manejo de agua, así como de usos reales que se le dan al agua en la cuenca, entre otros.

Para el cálculo de los balances hídricos a futuro, no fue posible realizar proyecciones para algunos de los factores requeridos en las formulas para determinar el balance hídrico superficial, por lo que algunos de ellos se mantuvieron constantes bajo la premisa ceteris paribus, pues de lo contrario esto induciría a error en los resultados.



<sup>1</sup> Nazareth Rojas Morales

De los resultados se determinó que las cuencas que presentan mayores disminuciones en la lámina de escurrimiento para finales de siglo corresponden a aquellas en las que se proyectan las máximas disminuciones en la precipitación, estas cuencas se ubican en la línea costera del pacífico norte y en gran parte del pacífico central, en la cuenca del río Tárcoles, así como en algunas cuencas de la región norte del país, principalmente las que se ubican en el sector occidental del país.

**Palabras clave:** Balance Hídrico, Cuencas Hidrográficas, Modelos de Circulación Regional, Modelos de Circulación Global.

## ABSTRACT

This study allows to approximate the value of watershed runoff for the period 2071-2100, as a point of comparison with the values of runoff from the results of the water balance achieved between 2008 and 2010.

<sup>1</sup> Especialista en Hidrología. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. [rvilla@imn.ac.cr](mailto:rvilla@imn.ac.cr).

The projections for the end of the century of the parameters that are related to runoff is calculated from climate projections generated by global and regional climate models.

As current values of runoff were used the results of the water balance of the 34 river basins in the country, 15 of which were studied by IMTA (Mexican Institute of Water Technology) in 2008, using the method of generating balances established by UNESCO, the remaining 19 were studied by CIESA (Center for Economic and Environmental Studies) in 2010, using a method based on the Holdridge life zone (precipitation and height).

There is no uniformity in the methodology for determining the water balance because not all basins have enough weather information, distribution and management of water, as well as real applications that give the water in the basin, among others.

To calculate future water balances, projections were not possible for some of the factors required in formulas to determine the surface water balance, so some of them were kept constant under the premise *ceteris paribus*, otherwise this would mislead the results.

From the results it was determined that the watersheds have greater decreases in runoff sheet by the end of the century, are those in which the maximum projected decreases in precipitation, these basins are located in the northern Pacific coastline and much of the Central Pacific in Tarcoles River Basin, and in some basins in the northern region of the country, especially those located in the western part of the country.

**Keywords:** Balance Water, Watershed Regional Circulation Models, Global Circulation Models.

## Introducción

Recientemente el país ha tenido el interés de realizar Balances Hídricos con el fin de determinar cuál es el potencial hídrico, en este caso por cuenca hidrográfica.

No fue posible realizar este estudio mediante un mismo método, debido a que se requiere información de diversa

índole para cada una de las cuencas del país, entre la información más destacada se pueden mencionar datos meteorológicos de lluvia, humedad relativa, radiación solar y temperatura, las cuales deben tener un registro considerable de datos, así como de buena calidad. En este caso el problema es que a nivel de cuenca no existen suficientes estaciones o bien no se cuenta con un buen período de registro o no son estaciones completas, es decir que no miden todos los parámetros supracitados, que le permita al investigador utilizar esta información, por otro lado, también se requiere información de otra índole que en efecto no está disponible para todas las cuencas.

Por otro lado, tampoco existen estaciones fluvigráficas en todas las cuencas, así como en los cauces de interés.

Existe otro tipo de información necesaria a nivel de cuenca como datos de distribución de agua, usuarios reales de agua, información hidrogeológica, entre otros, que la mayoría de las veces no está disponible.

A nivel nacional el Balance Hídrico se realizó con 2 métodos diferentes, inicialmente para el año 2008, la actual Dirección de Aguas del MINAET (Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones) mediante consultoría con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizaron los balances para 15 cuencas, en este caso se seleccionaron aquellas que contenían mayor información para poder aplicar el método establecido por UNESCO, con el cual por separado se realizan los balances hídricos superficiales y subterráneos.

Para las 19 cuencas restantes, no fue posible utilizar esta metodología, debido a la falta de información de calidad y cantidad, ya que estas cuencas en menor medida tienen un bajo desarrollo social y económico.

De tal manera que si se estimaban los valores con los que no se contaba induciría a un gran error en los resultados.

social y económico. De tal manera que si se estimaban los valores con los que no se contaba induciría a un gran error en los resultados.

El método utilizado por la empresa consultora Centro de Estudios Económicos y Ambientales (CIESA), quién fuera la empresa encargada de realizar el estudio para las 19 cuencas, permite hacer el análisis de la oferta hídrica anual (escurrimiento medio anual) de una cuenca basada en los planteamientos de las zonas de vida de Holdridge. Este método garantiza la aplicación en aquellas áreas en las que no se cuenta con suficiente información, ya que la estimación de la oferta está en función de la precipitación y de la atura media.

### Materiales y métodos de análisis

Los resultados del Balance Hídrico de las cuencas analizadas por IMTA se obtuvieron a partir de la metodología propuesta por la UNESCO, cuya ecuación de balance integra variables superficiales y subterráneas, la cual se expresa como:

$$\Delta V = (VII + Im + Re + Vm + B + Ar) - (Inter + ET + In + Uc + f + Ev + Ex + Ab)$$

Donde;

V  $\Delta$  Cambio de almacenamiento considerando los cuerpos de agua existentes en la cuenca.

VII Volumen de lluvia

Im Volumen de importación entre cuencas

Re Retornos de agua

Vman Volumen aportado por manantiales

B Extracciones por bombeo

Ar Volumen de escurrimiento desde aguas arriba

Inter Intercepción

ET Evapotranspiración

In Infiltración

Uc Usos de consumo (superficial y subterráneo)

f Fugas en la red de distribución de agua potable

Ev Evaporación en cuerpos de agua

Ex Volumen de exportación entre cuencas

Ab Volumen de escurrimiento hacia aguas abajo

Debido a que el método de la UNESCO requiere una serie de información muy específica, la cual no está disponible para las 19 cuencas restantes, el Instituto Meteorológico Nacional mediante consultoría con la empresa Centro de Investigaciones Económicas y Ambientales (CIESA) determinaron una metodología que permite realizar el análisis de la oferta hídrica anual (escurrimiento medio anual) de una cuenca, y está basada en los planteamientos de las zonas de vida de Holdridge, quien luego de analizar una gran cantidad de datos de temperatura, vapor de agua cerca de la superficie, etc., logró explicar satisfactoriamente por medio de diagramas y nomogramas, cómo se asocia el movimiento del agua en una cuenca según las regiones climáticas y zonas de vida respectivas.

Esta metodología fue ensayada en 1983 por parte del Departamento de Estudios Especiales del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Mediante este estudio realizado por el ICE, se determinó la bondad de la metodología para estimar el escurrimiento promedio anual, la cual permite obtener un grado de exactitud mayor al 95% si la información básica es correcta. Esta conclusión se desprende luego de aplicarse la metodología a 8 cuencas distintas y utilizándose los valores promedio de la cuenca, como lo son la elevación media de la cuenca (Em) derivada de la curva hipsométrica y la Precipitación Promedio Anual (PPA) obtenida de las isoyetas de boletines hidrológicos considerando el periodo total de registro de las estaciones. (CIESA, 2010).

La ecuación del balance hídrico superficial a nivel anual con la que se implementa el método de Holdridge, es la siguiente:

Donde;

Esc: Escorrentía media anual

PPT: Precipitación media anual

EVTR: Evapotranspiración real media anual

(S1-S2): Cambio neto en el almacenamiento

<sup>1</sup> Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Documento Técnico No.4. año 2006

Este análisis se realizó para 3 diferentes escenarios: húmedo, normal y seco, es decir se tomaron las series de datos y se analizaron los registros de los años que estuvieron por encima del 25% de la precipitación promedio, esto corresponde al escenario húmedo y los que estuvieran por debajo de un 25% estarían dentro del escenario seco.

Para el caso del presente estudio, se utilizaron los resultados de la esorrentía para el escenario normal.

A partir de los resultados de los Balances Hídricos obtenidos de los informes de IMTA y CIESA, se realizaron las proyecciones de la oferta de agua para el período 2071-2100. El análisis se realizó considerando solamente el aporte del agua superficial, ya que el método utilizado por el CIESA solo estima este componente.

Para determinar las proyecciones climáticas para el citado período, se utilizaron los resultados de los Modelos Climáticos realizados mediante el Modelo de Reducción de Escala (downscaling) Dinámico, por medio del Modelo Regional PRECIS. Este modelo tiene una alta resolución espacial y temporal. Fue desarrollado por el Centro Hadley de la oficina de Meteorología del Reino Unido

y representa la versión más actualizada para el Modelo Regional HADRM3P. Para los resultados obtenidos las resoluciones espacial y temporal seleccionadas fueron de 50 km y anual.

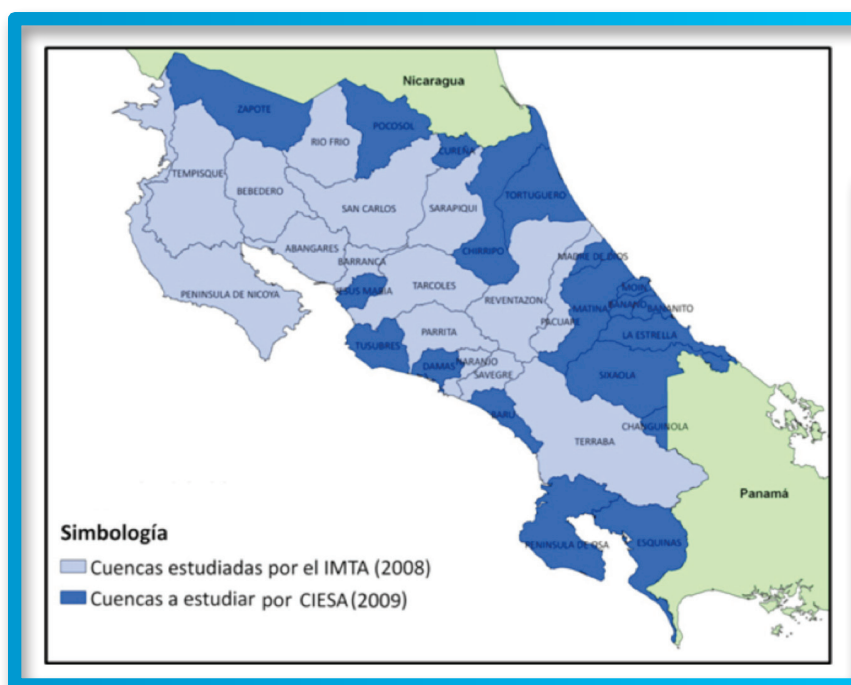
Los resultados del Modelo PRECIS para Costa Rica, fueron alimentados con los resultados del Modelo Global Atmosférico de Baja Resolución HadAM3H y las anomalías de la superficie del mar del Modelo Acoplado HadCM3. Para la simulación del clima se usó el período 1961-1990 considerado la línea base de la IPCC, corridos para un escenario de emisiones A2. (IMN, 2008)

Para determinar las proyecciones de las ofertas de agua o escurrimiento superficial, algunas de los componentes se mantuvieron constantes, principalmente para el Método de la UNESCO, ya que se requiere una serie de datos para los cuales no se puede inferir cual será el valor, o al menos la tendencia para finales de siglo.

## Resultados

En la Figura 1, se muestra la distribución de las cuencas analizadas por los diferentes métodos.

**Figura No. 1**  
**Distribución de las cuencas estudiadas según método**

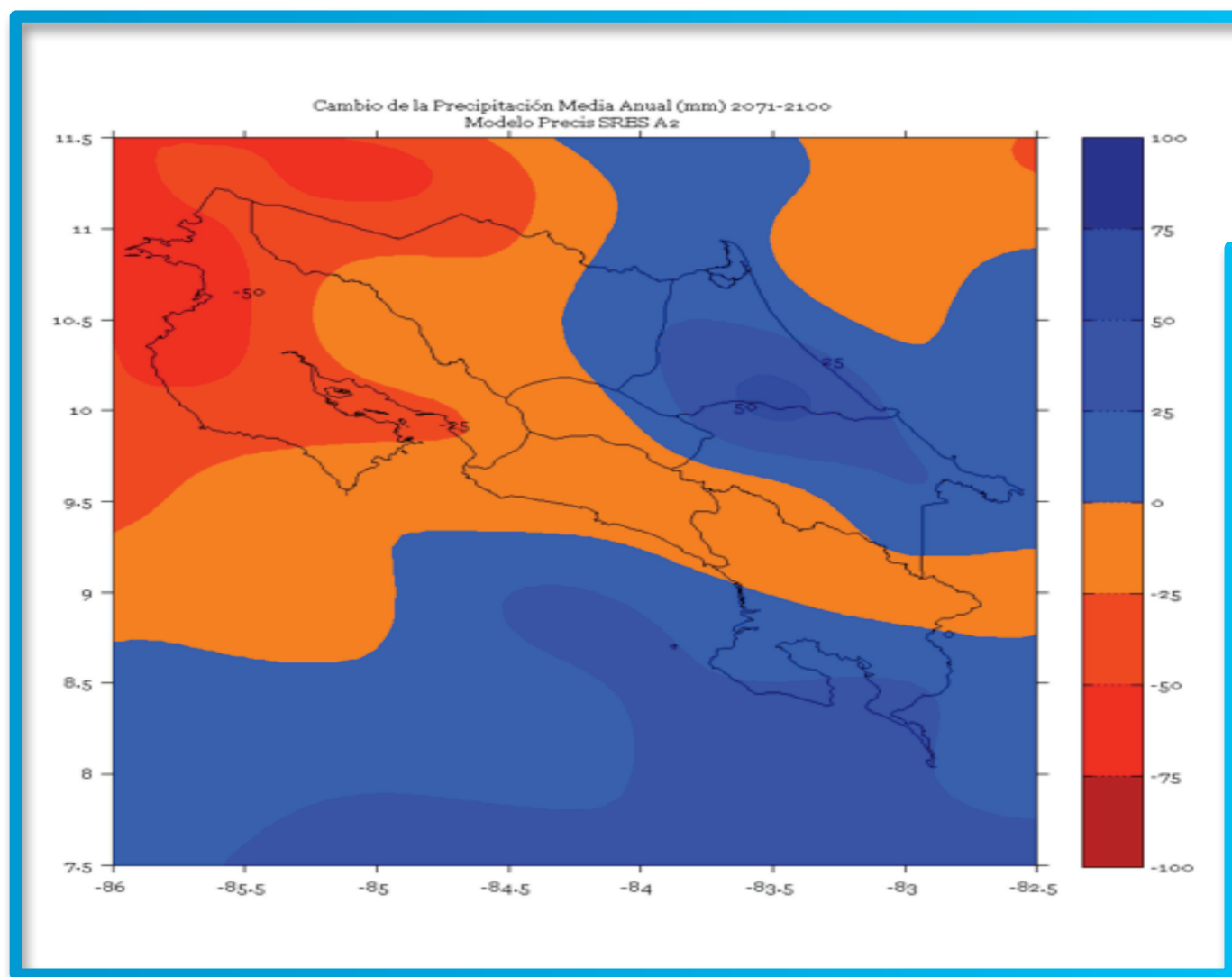


Para realizar el análisis de los cambios en las proyecciones de la escorrentía de las cuencas estudiadas por el IMTA, para el período 2071-2100, primeramente se determinó el porcentaje promedio de cambio de la precipitación media anual, este procedimiento también se realizó para la temperatura, para ello se trabajó con los resultados de los Modelos Climáticos Regionales PRECIS (MCR-PRECIS), para realizar las proyecciones de los cambios en la radiación solar se utilizaron los Modelos Globales (MG) de Environment Canada's Canadian Climate Change Scenario Network (CCCSN), estos últimos están basados

en los resultados del Cuarto Reporte de Evaluación (Assesment Report 4th) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), para los escenarios A2 (escenario de emisiones de gases efecto invernadero alto), corridos bajo el Modelo HADCM3.

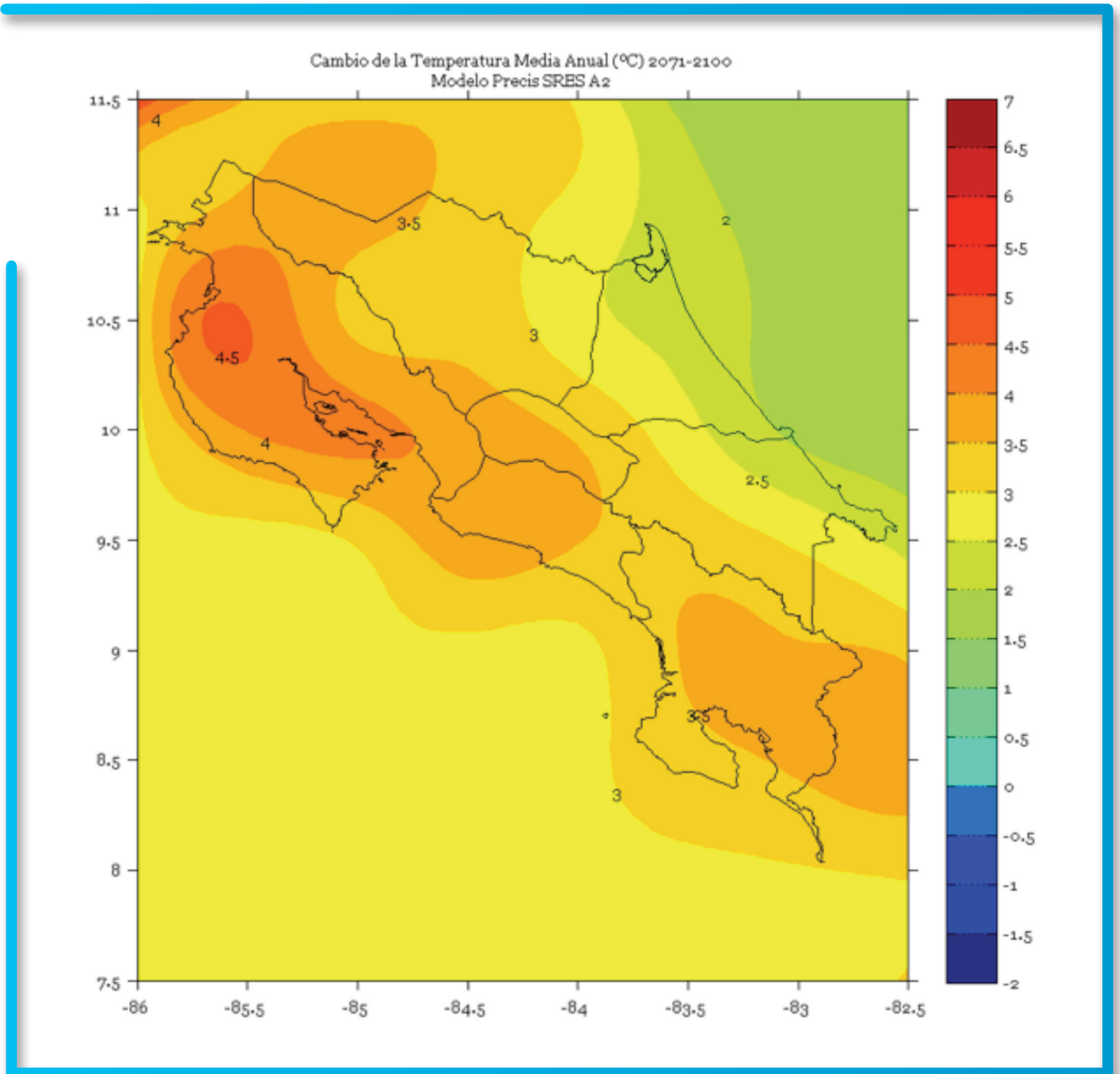
En las Figuras 2 y 3 se muestran los resultados de la modelación regional para los parámetros climáticos de precipitación y temperatura para el período 2071-2100 y en la Figura 4 se muestran los resultados del Modelo Global de los Cambios en la Radiación Solar.

**Figura No. 2**  
**Resultados del MCR-PRECIS para precipitación. Período 2071-2100**

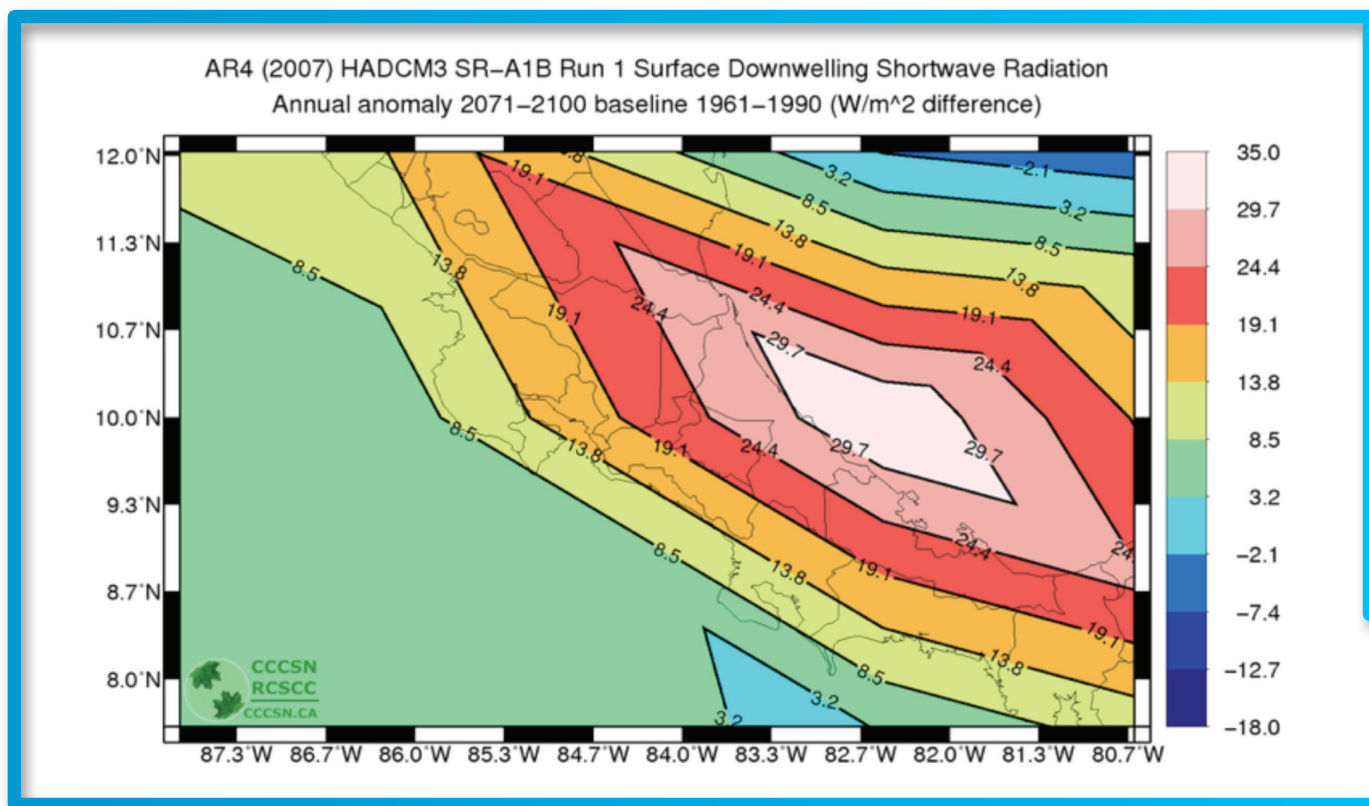


Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

**Figura No. 3**  
**Resultados del MCR-PRECIS para temperatura. Período 2071-2100**



**Figura No. 4**  
**Resultados del MG para las anomalías en la Radiación Solar período 2071-2100**



A nivel de cuencas las estimaciones de las anomalías en los parámetros de precipitación y temperaturas se estimaron como un promedio, ya que los resultados se muestran mediante isoyetas e isotermas, lo mismo con los datos de radiación solar.

El análisis de proyecciones para las 15 cuencas estudiadas por el IMTA tiene la suposición de que algunos parámetros se mantienen constantes, ya que no se puede especular con una buena precisión como sería la tendencia para finales de siglo, entre los que están la cobertura de bosque y de vegetación restante, porcentaje de las cuencas cubiertas con infraestructura y caudal de retorno al sistema.

Sin embargo, para este análisis se realizaron algunos ajustes para los consumos de agua, correspondientes a caudal concesionado y al de extracción de agua a partir de los manantiales, para ello se estimó que un 15,88%

sería el aumento proyectado, según las evaluaciones realizadas por CIESA tanto para las 19 que analizó, como para las restantes.

A partir de las hipótesis anteriores, se calcularon las proyecciones de la precipitación, temperatura y radiación solar para el período 2071-2100, esto para determinar los valores de los parámetros requeridos para el cálculo de la escorrentía, entre los que están la intercepción, la infiltración, la evapotranspiración potencial y real.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los porcentajes de cambio de la escorrentía, del año 2008 hasta el final del siglo.

**Cuadro No. 1**  
**Proyección de la escorrentía de 15 cuencas hidrográficas para el período 2071-2100**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Vol. lluvia (hm <sup>3</sup> ) 2008	Vol. lluvia (hm <sup>3</sup> ) 2071-2100	Interc. anual (hm <sup>3</sup> ) 2071-2100	EVTR (hm <sup>3</sup> ) 2071-2100	Infilt. (hm <sup>3</sup> ) 2071-2100	Vol. Cuenca propia (hm <sup>3</sup> ) 2071-2100	Vol. Cuenca propia (hm <sup>3</sup> ) 2008	Esc. mm) 2008	Esc. (mm) 2071-2100	Cambio esc. (%)
Abangares	1350,6	3132,5	2819,7	393,3	1461,6	180,7	784,1	1031,2	763,5	580,6	-24,0
Barranca	479,2	1478,4	1330,6	160,9	540,4	74,7	554,6	681,4	1422,1	1157,4	-18,6
Frío	1683,7	5648,1	5083,3	451,1	1857,7	419,5	2355,0	2676,6	1589,7	1398,8	-12,0
Tárcoles	2166,0	5119,4	4607,5	531,3	2308,8	243,3	1524,1	2163,3	998,7	703,6	-29,5
Térraba	4775,4	14544,7	13118,8	2111,2	5109,6	903,9	4994,2	5668,8	1187,1	1045,8	-11,9
Naranjo	323,4	1477,6	1329,8	215,4	352,9	90,4	671,2	747,8	2312,2	2075,4	-10,2
Pacuare	914,1	3534,4	3887,8	658,5	1069,2	362,3	1797,7	1518,3	1660,9	1966,6	18,4
Parrita	1288,6	3502,5	3152,3	447,8	1368,6	196,2	1139,6	1369,4	1062,7	884,3	-16,8
Península Nicoya A	969,4	1422,7	1138,1	166,4	825,3	96,4	50,1	172,7	178,1	51,7	-71,0
Península Nicoya B	3236,0	6890,0	6201,0	967,0	3492,3	332,8	1408,9	1813,8	560,5	435,4	-22,3
Reventazón	2818,9	10440,3	12006,3	1763,8	3343,1	1294,1	5605,3	4726,6	1676,8	1988,5	18,6
San Carlos Lago	406,3	1363,2	1226,9	220,9	460,2	120,1	425,6	463,1	1139,7	1047,5	-8,1
San Carlos 2	2625,1	8908,9	8018,0	1151,1	3027,2	615,8	3223,8	3720,4	1417,3	1228,1	-13,3
Sarapiquí-Chirripó	3771,3	18167,5	19984,3	3077,7	4941,3	2045,5	9919,7	8947,2	2372,4	2630,3	10,9
Savegre	603,7	2398,7	2158,8	381,7	641,1	134,7	1001,3	1118,2	1852,0	1658,5	-10,5
Tempisque-Bebedero	5422,1	9450,1	8032,5	1106,2	5181,5	503,5	1241,4	2173,1	400,8	228,9	-42,9

Para realizar el análisis de los cambios en las proyecciones de la escorrentía de las cuencas estudiadas por CIESA, para finales de siglo, primeramente se determinó el porcentaje promedio de cambio de la precipitación media anual, para determinar el valor proyectado al período de análisis; seguidamente se calculó el cambio en la temperatura por cuenca, esto para determinar

la biotemperatura requerida para el cálculo de la evapotranspiración real.

En el Cuadro 2 se muestran el porcentaje de cambio de la escorrentía proyectada al período 2071-2100, para las 19 cuencas estudiadas por CIESA.

**CUADRO No. 2**  
**Proyección de la escorrentía de 19 cuencas hidrográficas para el año 2071-2100**

Cuenca	Elevación media cuenca (m.s.n.m.)	Prec. (mm) 2009	% Cambio Prec.	Prec. (mm) 2071-2100	Cambio T media anual	ESC (mm) 2009	ESC (mm) 2071-2100	Cambio escorrentía (%)
Sixaola	1248,94	3891,0	10	4280,1	2,7	2930,0	3285,9	12
La Estrella	410,55	3203,0	20	3843,6	2,6	2015,0	2549,2	27
Banano	543	3346,0	20	4015,2	2,5	2152,0	2767,4	29
Bananito	150	2907,0	20	3488,4	2,5	1655,0	2105,3	27
Moin	96,98	3119,0	20	3742,8	2,5	1844,0	2355,9	28
Matina	983,3	3131,0	20	3757,2	2,7	2058,0	2638,6	28
Madre de Dios	55,3	2768,0	20	3321,6	2,6	1509,0	1927,0	28
Tortuguero	36,66	4337,0	15	4987,6	2,8	3071,0	3625,4	18
Chirripó Norte	500,15	4661,0	10	5127,1	3	3538,0	3934,5	11
Cureña	50,6	3932,0	10	4325,2	3,3	2641,0	2934,7	11
Pocosol	77,88	2504,0	-10	2253,6	3,6	1277,0	992,6	-22
Zapote	308,17	2433,0	-34	1605,8	3,5	1267,0	548,0	-57
Jesús María	264,23	2857,0	-10	2571,3	3,3	1660,0	1294,9	-22
Tusubres	257,64	3300,0	-10	2970,0	3,2	2076,0	1649,7	-21
Damas	306,82	3766,0	-10	3389,4	3,2	2542,0	2050,1	-19
Barú	363,52	3855,0	0	3855,0	3,2	2635,0	2546,7	-3
Península de Osa	130,51	4535,0	10	4988,5	2,9	3306,0	3658,2	11
Esquinas	206,76	3910,0	15	4496,5	2,9	2672,0	3162,9	18
Changuinola	2419,1	3063,0	0	3063,0	2,8	2389,0	2387,2	0

De los resultados expuestos en los cuadros 1 y 2, se determinó que la cuenca de la Península de Nicoya A, sería la más afectada, ya que se calcula una disminución de un 71% de caudal de oferta de agua superficial (escurrimiento), cabe destacar que hoy día esta cuenca ya presenta problemas por déficit de agua durante la época de estiaje de cada año, lo que genera la degradación de los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos debido a la sobreexplotación, de tal forma que si no se establecen estrategias de adaptación y no se mejora la eficiencia en el uso del suelo y del agua, es muy posible para finales del siglo en estas zonas la salinización y la falta de recurso hídrico conviertan a esta subcuenca en una área desertificada sin posibilidades de producción alguna.

La mayor parte de las cuencas que se localizan en la Región Caribe y Región Zona Norte tienen una tendencia al aumento en el escurrimiento, esto está muy ligado a las proyecciones de aumento de la precipitación en estas áreas.

La cuenca del río Tárcoles, donde en promedio se concentra más de un 50% de la población, proyecta una disminución del escurrimiento hasta en un 29,5%.

La cuenca que no sugiere ningún cambio en la oferta es la del río Changuinola, cabe destacar que esta es una de las cuencas con carencia de todo tipo de información, por lo que no es posible deducir por ejemplo, cuanto es la demanda de agua real en la cuenca.

Por otro lado, la cuenca del río Banano es la que proyecta el mayor aumento en el caudal de escurrimiento en un 29%. Esta cuenca es una de las más húmedas del país, con precipitaciones promedio anuales superiores a los 5.000 mm. De esta cuenca se extrae el agua para abastecer el consumo humano de las ciudades de Limón y Moín.

Se podría considerar que los cambios en la disponibilidad de agua en las cuencas para finales de siglo podrían estar regidos por cambios climáticos, ya sea debido al aumento en la temperatura, por las alteraciones positivas o negativas en la precipitación, así como por el incremento en los eventos extremos tanto de sequías como de inundaciones, estos factores no solamente afectan

la disponibilidad sino también la calidad del recurso hídrico, disminuyendo de esa manera el bienestar de las poblaciones, principalmente en los lugares donde se ubican las mayores concentraciones de personas.

El análisis de disponibilidad (oferta-demanda) del estudio del IMTA, indica que las cuencas que presentan resultados críticos son: la cuenca propia del Lago Arenal, Tempisque-Bebedero, Península de Nicoya y Grande de Tárcoles. El volumen de escurrimiento natural es de 463 hm<sup>3</sup>/año en la cuenca propia del Lago Arenal, no es suficiente para el volumen que se le extrae al embalse de 1.363 hm<sup>3</sup>/año. En la cuenca Tempisque-Bebedero se presentan las precipitaciones más bajas del país, 1.743 mm, con una época seca muy marcada de diciembre a abril, en la cual, se tienen precipitaciones medias mensuales menores a los 50 mm, por lo tanto esos meses resultan críticos. En la cuenca Península de Nicoya (a y b), la principal demanda de agua es la correspondiente al proceso natural de evapotranspiración, la relación ETP/P resulta del 99%. En la cuenca Península de Nicoya A, se presenta la precipitación más baja del país (1.468 mm) y en la época seca los valores de precipitación mensual son menores a 20 mm. En la cuenca Península de Nicoya B, se tiene una precipitación media anual del 2.129 mm con valores mensuales en la época seca menores a 50 mm. (IMTA, 2008)

Analizando el estado actual en lo referente al potencial hídrico de las cuencas analizadas por el IMTA y las proyecciones para finales de siglo, se puede determinar que en efecto estas cuencas son las que presentan los mayores porcentajes de cambio negativo en el escurrimiento, a excepción de la cuenca del San Carlos-Lago Arenal, cuya disponibilidad está en función del caudal embalsado y turbinado.

Por otro lado, en este estudio las cuencas que presentan mayor disponibilidad media anual, en lámina, sin déficit mensual son las de los ríos Sarapiquí-Chirripó, Pacuare y Reventazón.

Según los resultados del análisis de disponibilidad realizado por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) para las 15 cuencas, en la actualidad se ha definido un déficit hídrico en algunas de las cuencas

citadas anteriormente, en vista de que estas cuencas son las que proyectan una mayor disminución en los resultados de las proyecciones de escorrentía para finales del siglo, es de esperar que las condiciones de déficit no sólo sean mayores tanto en cantidad sino también en plazo, es decir es posible que para finales de siglo la cantidad de meses en los que se presenta déficit sean mayores que los que se establecen en la actualidad.

Cuando se realizan proyecciones climáticas para poder definir el comportamiento de los parámetros relacionados con la escorrentía, es importante indicar que intrínsecamente estos parámetros tienen incluidos las eventualidades meteorológicas debido al cambio climático, ya sea por eventos extremos secos o lluviosos, así como por aumento en la temperatura y en la radiación solar.

Por otro lado, de acuerdo con los Modelos Globales del IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), se proyecta un aumento en el nivel del mar, lo que convierte a todas estas cuencas costeras con déficit en sectores vulnerables a la salinización de los terrenos, por lo que se podrían ver afectados los acuíferos cercanos a la línea de costa debido a la intrusión salina. Además de ello, otros de los sectores que se verían afectados por los cambios negativos en la disponibilidad de agua son la productividad agropecuaria, la biodiversidad, los ecosistemas naturales y en general la economía de estas cuencas.

## Conclusiones

Las cuencas que proyectan mayor disminución de la escorrentía superficial corresponden a aquellas que se localizan en la franja costera de la Vertiente del Océano Pacífico, siendo la más afectada la subcuenca de los ríos de la Península de Nicoya A, con una disminución de más de un 70%.

La cuenca que no proyecta ningún cambio es la del río Changuinola, esto debido a que no hay tendencia de disminución o aumento en el régimen de precipitaciones, por otro lado, para esta cuenca no se tienen registros de usuarios de agua debido a las condiciones agrestes y al poco desarrollo de la cuenca.

Las cuencas de la Región Norte también presentan disminuciones del orden del 20%, principalmente cerca de la colindancia con la Región Pacífico Norte, debido a que en esta zona se proyecta una importante disminución de la precipitación para finales de siglo, esto según los resultados de los modelos climáticos regionales.

Las cuencas que se ubican en la Región Caribe (norte y sur) tienen la tendencia al aumento en la escorrentía para el período 2071-2100, esto muy relacionado con las proyecciones al aumento de las precipitaciones según los modelos climáticos regionales para esta ubicación.

Uno de los retos del país frente al cambio climático, es la garantía de tener un régimen hidrológico constante, por lo que dentro de los procesos de adaptación, el país debe incentivar la aplicación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, basado en buenas prácticas de manejo y conservación de suelos y agua, así como la inversión en infraestructura necesaria para la adaptación al déficit, la cual debe estar diseñada de tal forma que sea resistente al cambio climático.

## Bibliografía

1. CIESA (Centro de Estudios Económicos y Ambientales). 2010. Recurso Hídrico y Cambio Climático: Informe de Consultoría.
2. IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Proyecto Segunda Comunicación sobre Cambio Climático en Costa Rica para UNFCCC. San José, C.R. : IMN. MINAET .
3. IMTA ( Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2008. Elaboración de Balances Hídricos por Cuencas Hidrográficas y Propuesta de Modernización de las Redes de Medición en Costa Rica: Informe de Consultoría. México: IMTA

# Programa de abastecimiento del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón

## “Hacia una mejor calidad de vida”

El “Programa de Abastecimiento del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón”, está constituido por dos grandes componentes, el primero, corresponde a la construcción de obras de mejoras en acueductos de 43 localidades a nivel nacional (contemplando obras tales como captación de aguas subterráneas, captación de aguas superficiales, desarenadores, sustitución de redes, tanques de almacenamiento, plantas potabilizadoras, estaciones de bombeo, sistemas informáticos y alcantarillado sanitario) el segundo un componente ambiental (contemplando tres ejes esenciales: Ambiental, Social y Salud).

Mediante la inversión del Programa de \$114,8 millones cuyas fuentes de financiamiento son: Contrato de Préstamo con el BCIE por \$68,5 millones y la Contrapartida Institucional de \$46,3 millones con un horizonte de 20 años y una población beneficiada en este plazo de 2,283,947 habitantes.

Entre los beneficios directos del Programa se pueden citar; el aumento de la capacidad de producción y operación de los Sistemas de Abastecimiento que están dentro del programa, garantizar el servicio de agua potable con características de “calidad, cantidad y continuidad”. además de una mayor capacidad de respuesta ante eventos fortuitos, la disminución de aguas no contabilizadas, aumento de la cobertura para nuevos usuarios del servicio, así como el desarrollo de estrategias de educación ambiental.



<sup>1</sup>José Francisco Valverde Rojas

La conjunción de todo lo anterior tiene como fin la mejora en la calidad de vida de las comunidades beneficiadas mediante un mayor y mejor servicio mediante la infraestructura requerida y en armonía con el medio ambiente.

El programa se caracteriza por ser, principalmente, una inversión para el servicio de agua potable; sin embargo, también contempla un proyecto de alcantarillado sanitario a ejecutarse en la comunidad de Puerto Viejo de Limón. Esta zona se caracteriza por ser muy rica en recursos naturales debido a la presencia de arrecifes de coral, el Refugio de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo y la Reserva Indígena Kekoldi, se espera que con este proyecto, AyA contribuya no solo a mejorar la calidad de vida de la población, sino también a la protección de los recursos naturales debido a que el nivel freático dificulta la funcionalidad de otros sistemas de disposición final.

**Palabras clave:** Programa BCIE, Abastecimiento, Área Metropolitana, Acueductos Urbanos, Alcantarillado Sanitario, Puerto Viejo-Limón.

<sup>1</sup> Máster en Administración de Empresas. Unidad Ejecutora.  
AyA-BCIE. fvalverde@aya.go.cr.

Componente Estaciones de Bombeo: Son edificaciones con capacidad para impulsar el agua desde zonas bajas hasta zonas más altas.



Fotografía No. 1: Estación de Bombeo del Sur

Fotografía No. 2: Estación de Bombeo de Santa Ana

Componente Tanque de Almacenamiento: Son obras civiles de gran importancia, porque permiten asegurar la continuidad del servicio; ya que da soporte al abastecimiento en horas de alta demanda. Estas obras

varían en capacidad de almacenamiento desde 500 m<sup>3</sup> hasta 10.000 m<sup>3</sup> de agua, según las necesidades que presenta la población.



Fotografía No. 3: Tanque de Almacenamiento de Brasil de Mora

Fotografía No. 4: Tanque de Almacenamiento de Ciudad Colón

## Obras de Toma:

Son estructuras horizontales o verticales constituidas en el cauce de un río con la finalidad de captar el agua superficial.



Fotografía No. 5: Toma de Agua en Río Machuca

## Componente Plantas de Potabilización:

Obras requeridas para la producción de agua potable. Incluyen componentes tales como sedimentadores, floculadores, sistemas de desinfección y filtros entre otros.



Fotografía No. 6: Rehabilitación de la Plantas Potabilizadoras Salitral, Escazú y Tres Ríos

### Componente Sustitución de Redes:

Consiste en el cambio de tuberías que agotaron su vida útil por tubería nueva y de mejor tecnología.



Fotografía No. 7: Sustitución de Tubería mediante Perforadora horizontal en proyecto de Cedros y San Pedro de Montes de Oca



Fotografía No. 8: Sustitución de tubería



Fotografía No. 9: Reparación de asfalto posterior a la sustitución de Tubería

### Detalle de proyectos concluidos al I semestre del año 2012

El programa Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), en cumplimiento de los objetivos y metas establecidas cuenta con nueve proyectos que han concluido la etapa constructiva en un 100%, de

acuerdo con el detalle del cuadro N° 1 que se presenta a continuación. Además se presentan los cuadros N° 2 (proyectos en etapa de ejecución) y el cuadro N° 3 (proyectos en etapa de contratación)

**Cuadro No. 1**  
**Proyectos Concluidos**

PROYECTO	MONTO (en colones)	PLAZO	AVANCE FÍSICO	POBLACIÓN BENEFICIADA
2008-LI-000008-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Las Vueltas de la Guácima	¢ 719,582,175.00	11 meses	100%	66.792 Habitantes
2008-LI-000007-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Pérez Zeledón I.	¢ 405,533,968.80	10 meses	100%	119.118 Habitantes
2009-LI-000004-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Jacó de Garabito	¢ 307,515,000.00	6 meses	100%	30,182 Habitantes

continúa... 

PROYECTO	MONTO (en colones)	PLAZO	AVANCE FÍSICO	POBLACIÓN BENEFICIADA
2008-LI-000006-PRI Centro Control Operacional	¢ 215,595,548.00	100 días	100%	275.000 Habitantes
2008-LI-000005-PRI Sustitución de Redes de Acueducto Metropolitano	¢ 1,383,296,838.00	11 meses	100%	40.000 Habitantes
2010-LA-000038-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Los Guido-La Capri	¢ 132,737,071.00	6 meses	100%	Comunidad Los Guido y La Capri
2009-LI-000001-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Ciudad Colón	¢ 858,735,250.00	8 meses	100%	20.000 Habitantes
2009-LI-000003-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Estación de Bombeo del Sur	¢ 369,759,209.00	12 meses	100%	60.000 Habitantes
2011-LA-000032 Abastecimiento de Agua Potable para San Mateo	¢ 103,125,959.00	2.5 meses	100%	6.000 Habitantes

**Cuadro No. 2**  
**Proyectos en etapa de ejecución**

PROYECTO	MONTO	PLAZO	AVANCE FÍSICO	POBLACIÓN BENEFICIADA
2008-LI-000004-PRI Abastecimiento de Agua Potable para la Zona Oeste de San José	¢ 7,584,860,696.00	24 meses	98%	240.000 Habitantes
2009-LI-000002-PRI Plantas Potabilizadoras	¢ 1,449,000,000.00	9.5 meses	92.7	597.000 Habitantes
2011-Abastecimiento de Agua Potable para Escazú Sur	¢ 626,206,593.00	200 días	17%	25.000 Habitantes
2011-LI-000002 Abastecimiento de Agua Potable para El Pasito de Alajuela	¢ 638,576,923.00	200 días	15%	80.000 Habitantes
2011-LI-000006-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Esparza	¢ 1,522,411,651.00	12 meses	6.44	26.900 Habitantes
2011-LI-000006-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Esparza	¢ 1,522,411,651.00	12 meses	6.44	26.900 Habitantes

**Cuadro No. 3**  
**Proyectos en etapa contratación**

PROYECTO	MONTO	PLAZO	ESTADO
2011-LI-000007-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Atenas	¢ 1,522,411,657.00	12 meses	Adjudicado
2011-LI-000009 Abastecimiento de Agua Potable para Liberia	¢ 664,500,000.00	12 meses	En proceso de adjudicación
2011-LI-000010 Abastecimiento de Agua Potable para San Ramón y Palmares	¢ 4,680,000,000.00	14 meses	En proceso de adjudicación
2012-LI-000001 Abastecimiento de Agua Potable para Cerro Minas	¢ 1,200,000,000.00	7 meses	En proceso de adjudicación
2012-LA-000029 Abastecimiento de Agua Potable para Calle Lajas	¢ 170,000,000.00	6 meses	En proceso de adjudicación
2012-LI-000002-PRI Abastecimiento de Agua Potable para Jacó (tanque)	¢ 315,000,000.00	6 meses	En proceso de adjudicación
2012-000028-LA Sustitución de Redes del Sistema de Aducción de Coronado.	¢ 80,000,000.00	4 meses	En proceso de adjudicación

## Plan Global de Inversiones

El Programa, que se desarrollará, plantea realizar inversiones en obras de abastecimiento de agua potable en todo el país; sustitución de redes de distribución, rehabilitación y mejoras en plantas de tratamiento de agua potable, ampliación del Sistema de Control Operacional existente, en el Área Metropolitana de San José; un componente de protección de las cuencas productoras a nivel nacional y un proyecto de alcantarillado sanitario en una localidad turística costera. La ejecución de este Programa brindará beneficio directo a la población localizada en el Área Metropolitana de San José y a un total de 19 ciudades que incluyen 3 importantes localidades turísticas costeras.

No obstante, mediante estudios de costos realizados en cada sistema, se determinó que los recursos asignados en el Plan Global de Inversiones del préstamo actual no serían suficientes para cubrir la totalidad de las necesidades de infraestructura descritas en el Documento Soporte del Programa. Así mismo, los proyectos iniciales se han reformulado a través de nuevos diseños que actualizan la propuesta técnica inicial.

Debido a lo anterior, se requiere de un financiamiento adicional de \$35 millones para alcanzar la totalidad de las metas propuesta en el programa inicial, con una

contrapartida de \$23,5 millones para un total de \$58,5 millones. El cuadro N° 4 contempla tanto la inversión inicial como la requerida en la ampliación.

**Cuadro No. 4**  
**Plan Global de Inversiones (PGI) del Programa AyA-BCIE 1725 y ampliación**

Rubros de Inversión	PGI Vigente en miles de US \$			Ampliación del PGI en miles de US\$			PGI PROPUESTO en miles de US\$		
	AyA	BCIE	Total	AyA	BCIE	Total	AyA	BCIE	Total
Abastecimiento Agua Potable Zona Noreste	3,715,00	2,658,00	6,373,00				3,715,00	2,658,00	6,373,00
Abastecimiento Agua Potable Zona Oeste	4,742,00	13,224,00	17,966,00				4,742,00	13,224,00	17,966,00
Sustitución de Redes Acueducto Metropolitano	6,622,00	8,451,00	15,073,00				6,622,00	8,451,00	15,073,00
Mejoras Plantas de Tratamiento Area Metropolitana	1,171,00	1,756,00	2,927,00				1,171,00	1,756,00	2,927,00
Sistema Control Operacional	207,00	142,00	349,00				207,00	142,00	349,00
Acueducto de Pérez Zeledón	3,319,00	4,978,00	8,297,00				3,319,00	4,978,00	8,297,00
Acueducto de Quepos y Manuel Antonio	1,581,00	2,72,00	3,953,00				1,581,00	2,372,00	3,953,00
Acueducto de San Ramón	3,460,00	5,190,00	8,650,00				3,460,00	5,190,00	8,650,00
Acueducto de Sur de Limón	668,00	1,003,00	1,671,00				3,160,00	5,631,00	8,791,00
Alcantarillado Sanitario Puerto Viejo	1,428,00	2,142,00	3,570,00				1,428,00	2,142,00	3,570,00
Otros Sistemas de Agua y Alcantarillado	7,973,00	11,030,00	19,003,00	14,215,92	32,662,45	46,878,37	19,696,92	39,064,45	58,761,37
Componente Ambiental	,00	1,500,00	1,500,00				,00	1,500,00	1,500,00
Terrenos y Servidumbres	5,200,00	,00	5,200,00	4,000,00		4,000,00	9,200,00	,00	9,200,00
Imprevistos	,00	4,381,00	4,381,00				,00	4,381,00	4,381,00
Escalamiento	,00	4,381,00	4,381,00				,00	4,381,00	4,381,00
Costos de Pre-Inversión	6,224,00	5,297,00	11,521,00	5,284,08	2,337,55	7,621,63	11,508,08	7,634,55	19,142,63
<b>TOTAL</b>	<b>46,310,00</b>	<b>68,505,00</b>	<b>114,815,00</b>	<b>23,500,00</b>	<b>35,000,00</b>	<b>58,500,00</b>	<b>69,810,00</b>	<b>103,505,00</b>	<b>173,315,00</b>
Porcentaje	40,3%	59,7%	100,0%	40,2%	59,8%	100,0%	40,3%	59,7%	100,0%



# GESTIÓN AMBIENTAL

# Componente ambiental del “Programa de Abastecimiento de Agua Potable del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón”

## RESUMEN

Como parte del Programa de Abastecimiento del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón, en adelante Programa BCIE 1725, se encuentra un Componente Ambiental que da integralidad a los proyectos de construcción de obras.

El componente ambiental se fundamenta en las directrices institucionales como lo son los lineamientos de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Eficiencia Energética, así como en la legislación nacional ambiental vigente. La gestión ambiental se basa en tres ejes fundamentales: ambiental, social y de salud.

El primero corresponde a todas las acciones que tienen por objetivo garantizar que los proyectos constructivos que forman parte del Programa BCIE 1725, sean sometidos al proceso de viabilidad ambiental ante la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). Lo anterior, previo a la construcción de la obra civil.

Posteriormente, durante la construcción, los proyectos son sometidos a una regencia ambiental mensual, donde se inspecciona el cumplimiento de lo indicado en el Código de Buenas Prácticas Ambientales o de los requerimientos que solicite la SETENA como parte de la Resolución de Viabilidad del Proyecto.



<sup>1</sup>Georgina Garro Mora

El segundo eje, se refiere a la gestión que se realiza propiamente con las comunidades donde se desarrollan los proyectos. Desde esta perspectiva se trabaja tanto con la “Población Beneficiada por el Proyecto” como con la “Población Afectada por el Proyecto”.

En la mayoría de los casos, la población afectada por la construcción, es diferente a la población que se verá beneficiada por el aumento de la producción y la mejora del suministro de agua. Por esta razón, las estrategias de acercamiento social deben ser diferentes.

<sup>1</sup> Licda. en Salud Ambiental. Unidad Ejecutora AyA-BCIE.  
ggarro@aya.go.cr.

El tercer eje surge a partir de la relación entre el Componente Ambiental y el Componente de Construcción de Obras: el eje de Salud. Esto se debe a que la construcción de obras vitales sumado a la gestión ambiental del proyecto, repercute directamente en la calidad de vida de la población beneficiada debido al aumento en la producción de agua potable, mejoras en el almacenamiento, conducción, impulsión y distribución del líquido en comunidades que actualmente se encuentran con limitaciones en el suministro de agua potable.

Para dar soporte al Componente Ambiental la Unidad Ejecutora AyA/BCIE cuenta con una Unidad Técnica Ambiental conformada por cuatro personas.

A continuación se presenta un resumen de la gestión ambiental realizada:

**Palabras clave:** Ambiente, Programa BCIE-Puerto Limón

## ABSTRACT

As part of the Supply of Greater San Jose, Urban Water Supply and Sewerage of Puerto Viejo de Limon, hereinafter BCIE Program 1725, is an environmental component that gives integrity to works construction projects.

The environmental component is based on institutional guidelines such as the guidelines of the National Strategy for Climate Change and Energy Efficiency, as well as the current environmental legislation. Environmental management is based on three key areas: environmental, social and health.

The first corresponds to all actions that aim to ensure that the construction projects that are part of the BCIE 1725, are subject to environmental feasibility process before the National Environmental Technical Secretariat (SETENA). Above, prior to the construction of civil works.

Later, during construction, projects are subject to a monthly environmental regency, where compliance is inspected as indicated in the Code of Good Practices requirements or requesting SETENA as part of the resolution of project viability.

The second axis concerns the management is done properly with the communities where the projects are developed. From this perspective, working with both the "population benefiting from the project" as the "population affected by the project."

In most cases, the people affected by the construction, is different from the population that will benefit from the increase in production and improvement of water supply. For this reason, the social outreach strategies must be different.

The third axis arises from the relationship between the environmental and Component Construction Works: Health shaft. This is because the vital construction projects added to the project's environmental management, directly affects the quality of life of the beneficiary population due to increased production of drinking water, improvements in storage, transmission, supply and distribution fluid in communities that are currently with limited water supply.

To support the Environmental Component Implementation Unit AyA / BCIE has an Environmental Technical Unit consists of four people.

Below is a summary of environmental management performed:

**Keywords:** Environment, BCIE Program-Puerto Limón.

## Descripción general

El componente ambiental del Programa BCIE 1725 está compuesto por: la gestión de viabilidades ambientales, inspección de obras e inversión del componente ambiental.

## Viabilidades ambientales

Para el proceso de viabilidad ambiental de las obras de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario prevalece el interés público de las mismas, sin embargo, el proceso de viabilidad garantiza que obras vitales para el desarrollo socioeconómico de las comunidades se ejecutarán tomando en cuenta toda la regulación ambiental vigente en el país.

Las obras del Programa se categorizan, para efectos de viabilidad ambiental, según la magnitud de las construcciones, los movimientos de tierra necesarios y la posible afectación de zonas ambientalmente frágiles, entre otros criterios que brinda el Decreto Ejecutivo 31849 y sus reformas; así como la aplicación de Formularios D1 y D2 con los cuales se evalúa el proyecto cuando se ha identificado si la obra es de "bajo impacto" o de "muy bajo Impacto".



Fotografía No. 1: Colocación de tubería en Proyecto de Zona Oeste de San José

Entre las obras de infraestructura del Programa BCIE 1725, que son consideradas de muy bajo impacto ambiental se pueden citar las sustituciones de redes de Escazú, Desamparados y San Pedro- Cedros; las mejoras a los sistemas de abastecimiento de las localidades de Liberia, Esparza, Jacó, Escazú Sur, Atenas, Las Vueltas de la Guácima, Pasito de Alajuela y San Mateo, así como obras de remodelación que se han llevado a cabo en la Planta Alta de Tres Ríos, San Rafael de Escazú y Salitral de Santa Ana.

Otros proyectos de mayor complejidad han sido los que implican aumento de producción, almacenamiento, potabilización, tratamiento de aguas residuales, conducción y distribución, tales son los casos de obras a ejecutar en Pérez Zeledón, Buenos Aires y San Ramón-Palmares; y proyectos cuyos movimientos de tierra son muy elevados como lo son las obras a realizar en Quepos-Manuel Antonio, Limón Centro y Nicoya.

La obra que se considera de mayor impacto ambiental es la obra de alcantarillado sanitario de Puerto Viejo de Limón en la cual debe realizarse un Estudio de Impacto Ambiental, con el propósito de determinar la magnitud del mismo y las acciones que deben realizarse durante la construcción y operación de la obra"

### **Inspección ambiental de obras del Programa BCIE 1725**

Estas inspecciones se aplican a todos los proyectos del Programa debido a requerimientos del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) el cual ha exigido mensualmente, un informe de cumplimiento de la legislación ambiental y los Compromisos Ambientales que se asumen con la Resolución de Viabilidad Ambiental de la SETENA.

Por lo tanto, se ha estado dando seguimiento al proceso de viabilidad ambiental de cada una de las obras mediante visitas mensuales a la zona de influencia directa del proyecto durante su etapa constructiva.

Los criterios de inspección se basan en la Resolución de Viabilidad Ambiental de la obra, en aspectos tales como el manejo y disposición final de escombros y la basura tradicional, señalización, generación de polvo, manejo y disposición final de material peligroso, rutas y regulación del tránsito cuando es requerido según la zona de influencia directa del proyecto.

Para llevar a cabo esta gestión, es de vital importancia el trabajo conjunto con el ingeniero (a) residente del proyecto, debido a que es el funcionario (a) enlace entre la Empresa Constructora y la Institución. A partir de las inspecciones se determinan acciones que deben corregirse o pueden mejorarse, lo que es indicado al ingeniero (a) para que lo coordine con la Empresa.

### **Inversión del componente ambiental**

Como se mencionó al inicio, el Componente Ambiental cuenta con un financiamiento de \$1.5 millones, los cuales deben ser invertidos en proyectos de sensibilización social, educación ambiental y protección de cuencas hidrográficas.

Con base en lo expuesto anteriormente y tomando en cuenta la Estrategia Nacional de Cambio Climático a nivel Institucional, se proponen y ejecutan los siguientes proyectos:

**Iluminación Solar en Plantas Potabilizadoras:** Consiste en la compra de paneles solares fotovoltaicos para iluminación externa de plantas potabilizadoras que forman parte del Programa BCIE 1725.

Actualmente se encuentra en etapa de adquisición y colocación de los equipos en las plantas potabilizadoras de Escazú y Santa Ana.

### Sistema de Iluminación solar con lámpara LED



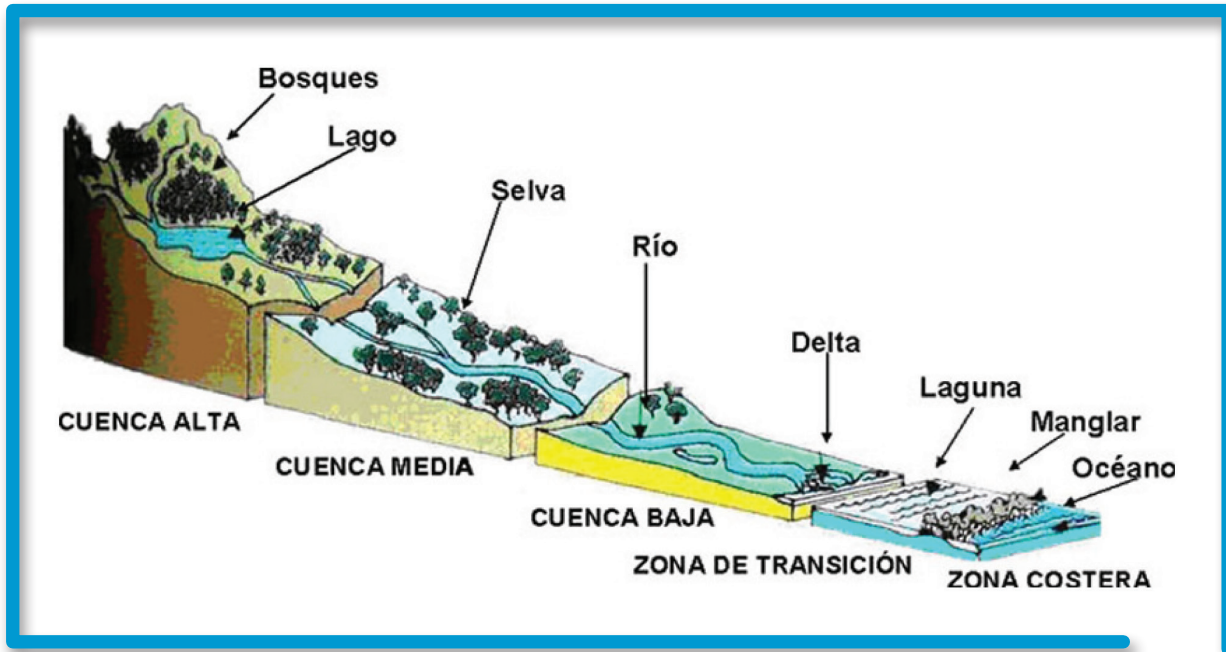
Instrumentación de Cuencas Hidrográficas: En coordinación con la Dirección de Estudios Básicos de la UEN Ambiental, se plantea la compra de estaciones hidrometeorológicas e hidrológicas con las cuales se pueden obtener datos climatológicos y de caudal en ríos.

Los equipos se colocarán en las partes altas de las cuencas del río Jabonal, Bananito, Fuentes de San Ramón, Nicoya y Liberia.

Con la generación de estos datos se pueden tomar decisiones más acertadas en cuanto al manejo de

cuencas hidrográficas y diseño de nuevas obras de infraestructura.

Es importante mencionar, que las fuerzas vivas locales, han manifestado su interés sobre la realización de balances hídricos en zonas utilizadas para el abastecimiento público, por lo que este proyecto puede utilizarse para fortalecer enlaces a nivel local, con el objetivo de realizar esfuerzos conjuntos para protección y uso adecuado de los recursos hídricos. Tal ha sido la experiencia con la Municipalidad de la Unión y el Movimiento Tiribí Limpio.



Fuente: UNA, 2012



Fotografía No. 2: Recorrido por cuencas hidrográficas

Componente ambiental del "Programa de... - Licda. Georgina Garro

Proyecto Educativo "Agua para mi Cantón": Tiene por objetivo fortalecer el enlace con las fuerzas vivas locales, principalmente con el Ministerio de Educación Pública debido a que se implementa en las escuelas del área de influencia directa de las obras.

Consiste en la implementación de talleres educativos dirigidos tanto a docentes como a niños y niñas de primer y segundo ciclo.

Durante los talleres se desarrollan conceptos de Cuencas Hidrográficas, fuentes de abastecimiento, infraestructura vital para el abastecimiento de la comunidad y el ciclo urbano del agua.

Estos temas son generadores de discusión, lo que permite introducir otros conceptos interesantes para la misma comunidad como lo son: la rotura de vías, el pago de los servicios y el valor económico del agua, zonas de recarga, y nuestra responsabilidad por contaminar el agua que llega potable a los hogares.

Se caracteriza por ser de "construcción social", es decir, los actores locales involucrados pueden participar y articular el proyecto educativo, permitiendo así que se magnifiquen los logros.

Por ejemplo, para el Proyecto de Mejoras al Sistema de Abastecimiento de Esparza, se trabajó en conjunto con la Cantonal de AyA y debido al trabajo en equipo "Cantonal-Unidad Técnica Ambiental UE AyA/BCIE" el proyecto ha tenido gran aceptación, prueba de ello es la conformación de una Comisión Local donde participa el Ministerio de Salud, la CCSS, representantes de la asociación de desarrollo, empresa privada, y el sector educativo. Por lo tanto, se espera un impacto social muy positivo para la Institución.

Posterior a la implementación de los talleres educativos, se realiza un evento final o cierre, mediante un concurso de dibujo pintado para primer ciclo y de maqueta para segundo ciclo, donde se exponen los trabajos que los niños y niñas realizaron.

Esta actividad se promueve para incentivar la participación, promover el proyecto de infraestructura, promover la gestión institucional a nivel local y fortalecer los enlaces realizados a nivel local.

### Talleres con docentes



Fotografía No. 3: Escuela Corazón de Jesús en Liberia



Fotografía No. 4: Casa del SEP en Palmar Norte

### Taller con niños



Fotografía No. 5: Escuela Ascensión Esquivel en Liberia

### Taller de maquetas con niños



Fotografía No. 6: Escuela Ascensión Esquivel en Liberia

Promoción social y sensibilización: A nivel local se ha trabajado con las Asociaciones de Desarrollo de acuerdo a las necesidades de cada localidad y según la urgencia de implementar estrategias de acercamiento con las comunidades. Esto debido a que la Unidad Técnica Ambiental solamente cuenta con cuatro funcionarios para dar soporte a toda la gestión que se realiza.

A nivel social se trabaja mediante reuniones con las asociaciones de desarrollo, ASADAS y Municipalidades,

siguiendo dos líneas: con la población beneficiada y con la población afectada por la construcción de las obras, debido a que los conceptos que se deben desarrollar durante las reuniones son distintos.

Las reuniones se realizan dando soporte a la información que solicitan las comunidades, por lo que más bien se convierten en un espacio donde las personas plantean sus preocupaciones y con base en ellas se brinda la información que sea necesaria.

Componente ambiental del "Programa de... - Licda. Georgina Garro

En este aspecto, es estratégico mantener una relación directa con la Dirección Regional, principalmente con el ingeniero de la zona, ya que muchas veces los temas corresponden a situaciones que se viven como parte de la operación actual del sistema.

El proyecto se basa en fortalecer la relación AyA-Comunidad, de manera tal que se canalicen las consultas mediante un funcionario de AyA y evitar que se hagan publicaciones equivocadas en periódicos locales o radio, que solo demeritan la gestión institución.



Fotografía No. 7: Asociación de Desarrollo La Angostura, San Isidro de Pérez Zeledón

Este fortalecimiento AyA-Comunidad también puede repercutir en disminuir la utilización de la Sala Cuarta como medio para resolver problemas de escasez de agua potable en ciertas zonas. Tal fue el caso de San Isidro de Pérez Zeledón, donde se inició un proceso de acercamiento social con Asociaciones de Desarrollo y

con el Gobierno Local, y se ha mantenido un flujo de información vital para que exista una comprensión de parte de la población que actualmente se encuentra con escasez de agua, mientras pasan los procesos de contratación los cuales son lentos.



Fotografía No. 8: Feria del Agua en Pérez Zeledón



Fotografía No. 9: Feria Salitral Santa Ana

## Bibliografía

1.AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados).2005.Documento Soporte del Programa de Abastecimiento del Área Metropolitana de San José, Acueductos Urbanos y Alcantarillado Sanitario de Puerto Viejo de Limón, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, C.R.: AyA.

2.AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2010. Manual de Procedimientos para la categoría VI, Acciones para Enfrentar el Cambio Climático del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, C.R.: AyA.

3.Costa Rica. Leyes y Decretos. 2004. Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). San José, C.R.: MINAE.SALUD. MOPT.MAG-MEIC.

# Programa de Eficiencia Energética

AyA como operador y rector de Agua, Alcantarillado, Ambiente y Saneamiento, juega un papel vital en la administración de este recurso, ya que el tratamiento de agua y el bombeo del recurso hace un uso extenuante de la electricidad

Con base en su compromiso con MINAE mediante el Plan de Eficiencia Energética 2012 debe crear estructuras integrales con las capacidades necesarias para lograr la administración eficiente de agua y de la energía podrá proporcionar el servicio, reducir el consumo de energía y proteger el medio ambiente.



**GESTION ADMINISTRATIVA**

# Implementación de la firma digital certificada en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)



<sup>1</sup>Pedro Leiva Cerdas

## RESUMEN

Con la firma de la ley de Certificados, Firmas Digitales y Documentos Electrónicos No. 8454 el gobierno pretende dar el paso del “podrán” por el “deberán” siendo el principal impulsor para que en corto tiempo todas las instituciones cuenten con esta valiosa herramienta, sin embargo su implementación masiva no ha sido tan rápida como se esperaba. Quizás el entender su buen desempeño y amplia seguridad técnica que esta ofrece en contraposición con una firma de puño y letra ha sido un factor determinante para su rápida implementación, aunado a la carencia de procesos automatizados por ser un país en vías de desarrollo. Este artículo pretende poner en claro algunos aspectos de gran conveniencia para el AyA y disminuir la brecha tecnológica en relación a este tema.

**Palabras clave:** Firma digital, Ley No. 8454, Certificado digital.

## ABSTRACT

With the signing of the Act of Certificates, Digital Signatures and Electronic Documents No. 8454, the Government intends to take the step of “may” for “shall” be the main driver for a short time in institutions have this valuable tool; however, its implementation has not been as massive fast as expected. Perhaps understanding the good performance and extensive technical security it offers, as opposed to a handwritten signature, has been a determining factor for its implementation is not been rapid, coupled with the lack of automated processes that would come to streamline this implementation, because our country is developing. This article seeks to clarify some aspects of great convenience to the Institute and narrow the technology gap with respect to this issue.

**Keywords:** Digital Signature Act No. 8454, Digital Certificate.

<sup>1</sup> Máster en Administración de Tecnologías de Información con énfasis en Administración de Proyectos. Dirección de Sistemas de Información. pleiva@aya.go.cr.

## Introducción

Las tecnologías de información y comunicación (TIC) cambian nuestra forma de trabajar y de hacer las cosas, cada vez más el hombre se hace más dependiente de ellas; el uso de Internet permite el intercambio de una cantidad amplia de información desde y a cualquier lugar del mundo, sin que medie el desplazamiento físico para enviar así como recibir información, reduciendo costos significativamente, i.e. realizar un pago o trámite bancario, solicitar un nuevo servicio de agua potable, inscribirse en una lista de proveedores, asociarse a una nueva organización, son todos trámites posibles de realizar sin que medie nuestra presencia física.

Sin embargo éste intercambio de información digital trae consigo el riesgo que la información pueda ser alterada durante su envío por lo que no es posible ligar con seguridad el autor a un documento o bien el emisor niegue la autoría parcial o total por lo enviado. Además que la información recibida sin la firma de puño y letra del autor carece de toda validez jurídica. La FIRMA DIGITAL es la respuesta tecnológica ante el problema descrito anteriormente.

Esta novedosa herramienta está soportada por 3 principios básicos; AUTENTICACION (la firma digital es equivalente a la firma física de un documento), INTEGRIDAD (mantener con exactitud la información tal cual fue generada, sin ser manipulada o alterada por terceras personas durante el transporte), y el NO REPUDIO (el emisor no puede negar haber enviado el mensaje, porque el destinatario tiene pruebas de lo recibido), estos principios brindan total validez jurídica al proceso.

Los primeros intentos por implementar la firma digital en Costa Rica inician en el año 2002, sin embargo no es sino hasta agosto del 2005, que Costa Rica contó con su primera Ley de Certificados, Firmas Digitales y Documentos Electrónicos No 8454, redactada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT).” En el 2006 mediante el Decreto ejecutivo N° 33018-MICIT, se crea el Reglamento a la Ley de certificados, firmas digitales y documentos electrónicos, que es cuando se superan las dificultades técnicas que evitaban ofrecer los niveles de seguridad óptimos para su operación.

## ¿Qué es la firma digital?

La Firma Digital es una herramienta tecnológica que permite garantizar la autoría e integridad de los documentos digitales, para crear la posibilidad de que éstos gocen de una característica e identidad que hasta ahora era exclusiva de los documentos en papel.

Una firma digital es un conjunto de datos asociados a un mensaje electrónico que permite garantizar la identidad del firmante y la integridad del mensaje.

Esta identificación no implica el aseguramiento de la confidencialidad del mensaje; un documento firmado digitalmente puede ser visualizado por otras personas, al igual que cuando se firma de puño y letra un documento basado en un soporte en papel. Adicionalmente el mensaje podría estar cifrado para que sólo pueda ser leído o interpretado por quien conozca la clave de cifrado.

La firma digital es también un instrumento con características técnicas y normativas propias. Esto significa que existen mecanismos estándar que permiten la creación y verificación de la firma digital.

Es necesario darle el sustento legal para que pueda adecuadamente implementarse, para lo cual existen documentos normativos oficiales que respaldan el valor legal quien le estable su alcance (autenticación, integridad y no repudio) para el caso de nuestro país esto está dispuesto en la ley 8454.

## ¿Qué es clave privada y clave pública?

En la elaboración de una firma digital y en su correspondiente verificación se utilizan procedimientos matemáticos basados en criptografía asimétrica. Esta técnica fue creada en los años 70 por matemáticos de la Universidad de Standford, Estados Unidos, y del Instituto Tecnológico de Massachussets donde encontraron el modo de asegurar la autenticidad y confidencialidad de la información digital mediante la aplicación de fórmulas matemáticas.

En un sistema criptográfico asimétrico, cada usuario posee un par de claves o llaves propias. Estas dos claves, llamadas clave privada y clave pública, poseen la característica que, si bien están fuertemente relacionadas entre sí por medio de una función matemática conocida, no es posible calcular o deducir la clave privada a partir de los datos de la clave pública, tampoco a partir de los documentos firmados con la clave privada. Justamente la clave “pública” y el documento firmado se suponen, a priori, “públicos”, es decir que pueden ser accedidos o leídos sin restricciones; mientras que la clave “privada” debe ser resguardada por su propietario.

El sistema opera de tal modo que una información firmada con una clave privada, puede ser validada con la clave pública que corresponda, pero sin poder deducir la clave privada. De este modo si un receptor verifica la información firmada con la clave pública del firmante, podrá validar el documento.

Cabe acotar que, para los efectos prácticos, la clave privada no requiere ser conocida por su titular sino que está almacenada en un medio seguro denominado dispositivo criptográfico.

Estos dispositivos criptográficos deben cumplir con un estándar de seguridad que garantiza la imposibilidad práctica de mostrar, revelar o perder la clave privada que almacenan.

### ¿Cómo es el proceso de la firma digital?

La firma digital utiliza un procedimiento matemático que relaciona un documento digital (que será firmado digitalmente) con información propia de la persona que se hace responsable de dicho documento (denominada firmante), y permiten que los terceros usuarios puedan reconocer la identidad del firmante y asegurarse de que los contenidos del documento firmado no han sido modificados (se cumple el principio integridad).

El mensaje electrónico puede ser de muy diversos tipos, tales como; un documento de texto, una factura de un servicio de agua potable, una transacción bancaria, una solicitud de servicios, una solicitud de vacaciones, una orden de pago, un reclamo por alto consumo, etcétera. Por un lado, el documento es sometido a una operación de generación de una huella digital (que es la generación

de un código que se corresponde con el documento denominado “digesto”) que se envía adjunto al mensaje original. De esta manera, se agregará al documento una marca que es única para dicho documento y que sólo el firmante es capaz de producir.



La acción de firmar digitalmente, que es un acto esencialmente voluntario de una persona, es llevada a cabo por el dispositivo criptográfico.

Para realizar la verificación del mensaje, la aplicación o el programa receptor del documento firmado verifica la firma digital del mensaje, para lo que utiliza la clave pública del firmante. Si la operación es exitosa, significa que no hubo alteración y que el firmante es quien dice serlo.

Al igual que cuando se firma digitalmente, estas acciones son efectuadas automáticamente por medio de facilidades que deben estar previstas en las aplicaciones o programas, lo que permite indicar la validez de la operación o alertar al receptor alguna anomalía.

La clave privada es entonces usada para firmar un documento electrónico mientras que la clave pública es utilizada por los destinatarios (o llamados también “terceros usuarios”) de un documento firmado, para verificar la firma de los documentos o mensajes. Este proceso garantiza integridad y autenticidad, sin embargo no se garantiza el principio de confidencialidad, ya que un documento firmado digitalmente puede ser leído por cualquier persona.

Para los fines prácticos, los soportes de claves privadas pueden venir en dispositivos similares a las tarjetas de crédito o tarjetas inteligentes también llamadas (smart card), (la imagen muestra como para el caso de nuestro país la Autoridad Certificadora del SINPE ofrece el dispositivo criptográfico), también puede alojarse dentro de un tokens criptográficos que son dispositivos similar a una memoria portátil o “llave maya”, (Flash Memory).

Dentro de ellos fue generada y permanece almacenada la clave privada y no puede extraerse o visualizarse. Una clave privada segura está formada por una sucesión de 128 caracteres o más, que puede llegar actualmente hasta los 2048 caracteres. El dispositivo debe estar siempre bajo control del firmante y debe estar protegido por una clave personal.

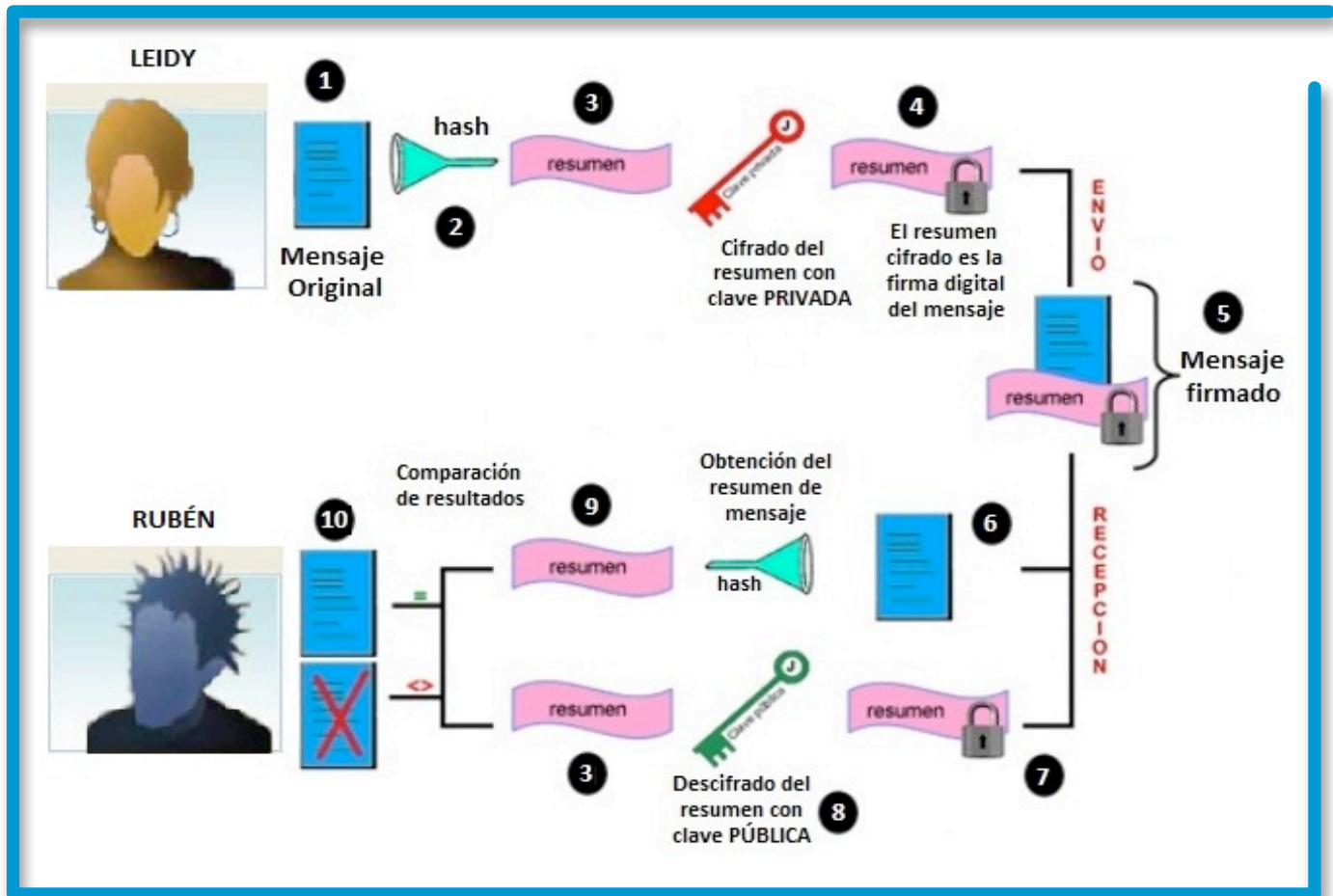


Para explicar de una forma mas clara y práctica el proceso de firma y validación, se mostrará como funciona el envío y recepción de un mensaje entre dos personas; el proceso inicia con el mensaje original de Leidy (1), ha este se le aplica una función llamada; función hash (2) para obtener un código resumen que se denomina digesto (3) que luego será unido al mensaje original utilizando la llave privada (4). Este es el punto más crítico del proceso, esta llave privada por ningún motivo debe salir del dispositivo criptográfico.

Para que este listo el mensaje que será enviado, se deberá de construir un paquete (5) que le será enviado al destinatario, el paquete esta compuesto por lo menos por 3 elementos; (1) + (3) + (8).

Ahora para que Rubén, quien es el destinatario final del mensaje pueda leer la información recibida, deberá de realizar el siguiente procedimiento; extraer el mensaje original (6) y el digesto (7), luego utilizando la llave pública (8) que fue recibida como parte del paquete, deberá desbloquear el resumen o digesto. Luego de

esto deberá de generar un nuevo digesto y compararlo con él que envió Leidy dentro del paquete (3), si y solo si estos dos digestos son iguales,  $[(3) = (9)]$ , el mensaje será tomado por Rubén como el mensaje correcto (10), y confiará en el.



### ¿Qué es un certificado digital?

Un certificado digital es un documento digital que “da fe” de la vinculación entre una clave pública y su poseedor, y se almacena y resguarda en el sitio web del certificador que lo otorgó. De este modo, permite verificar que una clave pública específica pertenece efectivamente

a un individuo determinado. Cuando un documento recibido está firmado digitalmente, tiene adjuntada su clave pública. Luego de realizar el procedimiento de verificación de firma, por medio del certificado se individualiza al firmante.

En su forma más simple, el certificado digital es un documento digital que contiene la clave pública y los datos personales de su titular (como nombre, apellido y número de documento), la fecha de vencimiento, el nombre de la Autoridad de Certificación (CA) que lo emitió, un número de serie y otros datos técnicos. Pero es fundamental destacar que el certificado propiamente dicho está firmado digitalmente por su emisor (la Autoridad de Certificación). A su vez, el certificado digital de la Autoridad de Certificación está firmado digitalmente por la Autoridad de Certificación Raíz, primer eslabón de la cadena de confianza. Y es posible verificar los datos de cada uno de los firmantes que respaldan esa cadena de confianza.

sencillo y debe ser siempre una sana costumbre de poner en práctica.

Cuando el certificado no es válido o es de un emisor del cual no se confía, se muestra una advertencia indicando el resultado del proceso de verificación, como un aviso de precaución de su invalidez, como se detalla en la siguiente figura.



Hay al menos una firma que presenta problemas.

- ☐ CA RAIZ NACIONAL - COSTA RICA
    - ☐ CA POLITICA PERSONA FISICA - COSTA RICA
      - ☐ CA SINPE - PERSONA FISICA
- PEDRO HUMBERTO LEIVA CERDAS (FIRMA)

Su formato está definido por un estándar internacional respetado por toda la industria informática y de telecomunicaciones. De esta forma, puede ser leído o escrito por cualquier aplicación o sistema informático que cumpla con el estándar.

### Revisar un certificado de firma digital

Cuando se recibe un archivo o una macro firmada digitalmente es aconsejable chequear el certificado con el cual fue firmado, a fin de comprobar su respectiva validez y a partir de aquí, confiar en el contenido del documento recibido.

Los certificados contienen mucha información que puede parecer muy complicada, sin embargo el procedimiento para verificar la validez del mismo es relativamente

### ¿Por qué se debe confiar en la firma digital?

1. Esta herramienta tecnológica cumple con doble autenticación ya que el usuario tiene algo que solo él sabe (palabra clave) y algo que él tiene (una llave privada insertada en el certificado digital).
2. Es imposible de suplantar, porque la firma ha sido creada por quien suscribe por medios que el mantiene bajo su control.
3. Mantiene total integridad con respecto a la información enviada.
4. El autor no puede negarse del contenido del mensaje enviado (no repudio).
5. El procedimiento de verificación es exacto y que es imposible en la práctica su falsificación.

## Modelo de certificación costarricense

La Ley 8454 define claramente el sistema nacional de certificación digital, bajo la responsabilidad del MICIT. Las entidades responsables de emitir los certificados digitales se denominan AUTORIDADES CERTIFICADORAS, estas deben de estar registradas por la Dirección de Certificadoras de Firma DIGITAL (DCFD) perteneciente al MICIT. Actualmente en nuestro país existe la CA del SINPE, quien ha estado emitiendo únicamente certificados de Persona Física. Sin embargo la ley ya

cuenta con toda la normativa jurídica necesaria para normar los certificados de Sellado de Tiempo y Agente Electrónico y que en un futuro muy próximo estarán emitiendo. El último tipo de certificado será utilizado para firmar documento actuando como representante de la empresa o institución.



CERTIFICADORAS, estas deben de estar registradas por la Dirección de Certificadoras de Firma DIGITAL (DCFD) perteneciente al MICIT. Actualmente en nuestro país existe la CA del SINPE, quien ha estado emitiendo únicamente certificados de Persona Física. Sin embargo la ley ya

para normar los certificados de Sellado de Tiempo y Agente Electrónico y que en un futuro muy próximo estarán emitiendo. El último tipo de certificado será utilizado para firmar documento actuando como representante de la empresa o institución.

## ¿Dónde se puede adquirir un certificado de firma digital?

Actualmente usted puede obtener un certificado de firma digital del CA SINPE en varios lugares denominados autoridades registro, los costos varían de un lugar a otro sin embargo todos son certificados pertenecientes a una misma raíz nacional, lo que permite interoperabilidad funcional.

Cada certificado tiene una validez de 2 años, que luego se puede renovar por un costo muy bajo, esto dependerá de la entidad donde se adquiera.

Proveedor	Contacto	Costo	cambio de pin
<b>BAC SAN JOSÉ</b> (únicamente cita, luego debe presentarse en el BCCR)	2295-9797	\$35	-
<b>BANCO PROMERICA</b>	2519 80 90	\$45	\$10
<b>BANCO BCT COSTA RICA</b>	2212-8141	\$75	\$2
<b>BANCO DE COSTA RICA</b>	2287-9000 ext. 9005	\$35	\$15
<b>BANCO LAFISE</b>	2246-0800 ext. 251 ó 822	\$35	\$10
<b>BANCO NACIONAL</b>	2212-2658	\$32.5	\$3.30
<b>BANCO POPULAR</b>	2202-5104	\$35	\$2.50
<b>COOPENAE</b>	2257-9060	\$35	\$2
<b>GRUPO MUTUAL ALAJUELA LA VIVIENDA</b> (solo para clientes)	2435-1729	\$35	\$2
<b>INS</b>	2287-6000 ext 8462 2287-6000 ext 2208	Gratis para los clientes	

**Fuente:** Datos verificados vía telefónica al 14 de mayo del 2012

## Beneficios de utilizar firma digital en AyA

La implementación práctica de la herramienta de firma digital ofrece grandes beneficios en los procesos institucionales ofreciendo una serie de ventajas; permite agilizar tramites, mejorar la seguridad en las transacciones, ofrece la posibilidad para digitalizar en su totalidad los procesos de verificación y aprobación "workflows", mejora la seguridad en los sistemas de información remplazando el viejo estándar de "login/password" y disminuye los costos y complicaciones del soporte en papel.

Existe una serie de trámites que los funcionarios de AyA realizan diariamente, que requieren presentar los documentos firmado de puño y letra en distintas oficinas para lo cual se deben de desplazar varios kilómetros entre oficina y oficina incurriendo en costos, que pueden ser reducidos si se utiliza la firma digital como parte de los procesos de asegurando, autenticidad e integridad en la comunicación.

## Palabras finales

La implementación de esta tecnología será progresiva mientras se construyan las estructuras y procesos alineándolas a las necesidades de cada organización esto contribuirá a reducir la brecha digital existente y lograr que nuestro país desarrolle modelos de negocio exitosos donde el mejoramiento, automatización y simplificación de procesos sea el elemento clave en los futuros proyectos. Será un tema importante aunar esfuerzos en cada una de nuestras competencias para hacer posible el aprovechamiento de esta herramienta tecnológica.



Actualmente en nuestra institución ya se están firmando digitalmente los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de aguas, dictámenes de calidad del agua emitidos por el Laboratorio Nacional de Aguas, por parte de la Proveduría Nacional los carteles de licitación y los trámites correspondientes para la publicación de documentos de AyA en el Diario Oficial La Gaceta entre otros documentos. La aplicación de esta herramienta ofrece un esquema excelente para contribuir en el tema de políticas de cero papel, expediente digital, sistema documental y gobierno electrónico, ahí la gran importancia de su implementación.

## Referencias bibliograficas

1. Costa Rica, Leyes y Decretos. 2008. Decreto Ejecutivo N° 33147-MP: Crea la Comisión Intersectorial de Gobierno Digital y la Secretaría Técnica de Gobierno.
2. Costa Rica, Leyes y Decretos. 2005. Ley No. 8454. Ley de Certificados, Firmas Digitales y Documentos Electrónicos.
3. Daniel, R. 2009. Firma Digital en la República Argentina, Un modelo para su desarrollo, Trabajo Integrador del Curso de Posgrado "Especialista en Gestión de las Telecomunicaciones 2007-2008". Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina.
4. LeivaCerdas, P.; VargasAraya, C. 2009. Conceptualización del marco metodológico para la implementación de la herramienta de firma digital, que le permita al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados obtener una posición de vanguardia tecnológica, además de una mayor agilidad en sus procesos de negocio y las TIC. Maestría en la Administración de Tecnologías de Información y Comunicación con énfasis en la Administración de Proyectos . Universidad Nacional de Costa Rica. 84 P.



EL AGUA ES VIDA ¡CUIDÉMOSLA!

# hidrogénesis®

REVISTA DEL INSTITUTO COSTARRICENSE  
DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS



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)