



# VIGESIMOSEGUNDO INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE

## Informe final “Recurso hídrico y saneamiento: avances y desafíos”

*Investigador:  
Jorge Herrera*



El contenido de esta ponencia es responsabilidad del autor. El texto y las cifras de las ponencias pueden diferir de lo publicado en el Informe sobre el Estado de la Nación en el tema respectivo, debido a revisiones posteriores y consultas. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe

## Índice

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Resumen Ejecutivo</a> .....   | 3  |
| <a href="#">Descriptor</a> .....  | 4  |
| <a href="#">Introducción</a> .....  | 4  |
| <a href="#">Patrones de uso del Recurso Hídrico en el país</a> .....  | 5  |
| Disponibilidad y acceso de agua potable en Costa Rica.....  | 8  |
| <a href="#">Las Asadas y la mejora en la calidad del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano</a> ..... | 11 |
| La calidad del servicio de abastecimiento de agua potable en el país.....   | 14 |
| <a href="#">Avances en el tema</a> .....  | 15 |
| Mejoras en el Reglamento de Calidad de Agua Potable.....  | 15 |
| Progresos en la gestión del recurso hídrico por parte del AyA.....  | 20 |
| Atención ante el cambio climático.....  | 22 |
| Resolución de problemática de contaminación por Arsénico.....   | 22 |
| <a href="#">Aguas subterráneas</a> .....  | 23 |
| <a href="#">Aguas residuales: Avances y asuntos pendientes</a> .....  | 25 |
| <a href="#">Aguas Superficiales: Avances y asuntos pendientes</a> .....   | 28 |
| <a href="#">Bibliografía</a> .....  | 38 |

## Resumen Ejecutivo

El 99,4% de la población del país tuvo acceso a servicios de suministro de agua por tubería, ya sea interna o externa. La cobertura de agua de calidad potable del AyA ha incrementado de un 50% en el año 1991 a un 91,7% en el 2015. El AyA es el ente operador que posee mayor población abastecida con agua potable (99%) mientras que las asociaciones comunales (ASADAS y CAARs) a pesar de atender un porcentaje importante de la población, presentan el menor nivel de potabilidad (80%). Adicionalmente, investigaciones realizadas durante el periodo 2014-2015 determinaron que las asadas continúan siendo estructuras comunales débiles que no operan con un modelo de gestión integral del recurso hídrico.

En referencia a la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable se determinó que la ESPH toma el primer lugar de acuerdo con el IGG (Índice Global de Gestión). La generalidad de los entes operadores del país es que distribuyen agua con buena calidad microbiológica pero con deficiencias en la continuidad del servicio.

Un avance importante en esta materia corresponde a la publicación del nuevo Reglamento de Calidad de Agua Potable (No.38924-S) en sustitución del No 32327-S. En términos generales el nuevo Reglamento no solo establece los criterios de cumplimiento de calidad del agua potable si no que clarifica los lineamientos para generar una gestión real del recurso hídrico destinado para uso y consumo humano en busca de la mejora continua de los entes operadores. A diferencia del reglamento anterior, este nuevo instrumento ofrece mayores exigencias de orden, normalización, evaluación de la operación, rendición de cuentas, entre otras, las cuales eran casi ausentes en el anterior.

Durante el periodo de análisis, el AyA ha diseñado y puesto en operación programas y proyectos enfocados en: el fortalecimiento de asadas, mejora de condiciones de sistemas de abastecimiento (áreas rurales), gestión integrada del recurso hídrico (balances hídricos y estudios hidrogeológicos), resolución de problemática de arsénico en aguas en la provincia de Guanacaste (grado de avance del 99%).

Con respecto al uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, no se registran cambios significativos en la tendencia dado que sigue prevaleciendo el uso de tanques séptico sobre el alcantarillado (con y sin tratamiento), con un 76,9% y 21,1% respectivamente. El porcentaje de cobertura con tanque séptico paso de un 73% en el 2013 a un 76% para el 2015. El manejo de alcantarillado sanitario sigue siendo deficiente en zonas rurales (5%) en comparación con zonas urbanas (27,7%). Las regiones con menor infraestructura pública de saneamiento (alcantarillado o cloaca) son la Región Huetar Norte y Chorotega (3,4 y 6,1%) en contraste con la Región Central en la que el 28% de la población cuenta con estos sistemas.

En lo referente a aguas superficiales; las investigaciones indican que los cambios en la temperatura y precipitación generados por el cambio climático, van a comprometer aún más la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua superficiales de la subcuenca del Río Virilla.

## **Descriptores**

Agua potable, agua para consumo humano, balance hídrico, contaminación del agua, aguas subterráneas.

## **Introducción**

El cambio climático tiene un papel protagónico en la concreción de las opciones reales de desarrollo del país. Las afectaciones posibles a las regiones tropicales ya han sido ampliamente estudiadas y se han hecho tangibles para la región centroamericana. El 2014 concluyó con pérdidas económicas cercanas a los 20 mil millones de colones relacionadas con la escasez de agua en la Región Chorotega y Pacífico Norte (Sandí *et al*, 2015). Estos hechos demuestran que la gestión del recurso hídrico es un tema primordial para el desarrollo sostenible de la nación y a pesar de que se han tomado decisiones concretas enfocadas a definir áreas de riesgo y direccionar hacia ellas programas especiales para la gestión del recurso (MINAE, 2009) aún no se muestran avances importantes en la mejora de vulnerabilidades.

A esta problemática se suman la ausencia de datos actualizados sobre las condiciones hídricas que permitan tomar decisiones concretas, el aumento de la demanda del recurso, la reducción de fuentes, los constantes problemas de contaminación y un gran rezago en el tema de saneamiento.

Es necesario analizar la vulnerabilidad del recurso para generaciones futuras de acuerdo con los patrones de disponibilidad, uso y calidad y gestión del recurso hídrico que se han desarrollado durante los últimos años.

## Patrones de uso del Recurso Hídrico en el país

De acuerdo con la información suministrada por la Dirección de Aguas del MINAE durante el año 2015, se otorgaron un total de 461 nuevas concesiones, considerando cada una de ellas como un expediente administrativo que puede incluir una o más tomas de agua, tanto a nivel superficial como subterráneo. Tal como se puede observar en el cuadro 1, las cuencas sobre las cuales se otorgaron más concesiones son: Grande de Tárcoles (139) y San Carlos (71). Sin embargo son las cuencas del Rio Tempisque y San Carlos donde se presenta el mayor volumen concesionado durante el año 2015.

**Cuadro I. Concesiones otorgadas durante el año 2015 y porcentajes de uso del recurso disponible por cuenca**

| Cuenca      | Concesiones otorgadas 2015 | Volumen Concesionado litros | Patrones de uso del recurso concesionado |                |              |                |            |           |       |           |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|--|----------------|--------------|----------------|------------|-----------|-------|-----------|
|             |                            |                             | Fuerza Hidráulica                        | Consumo Humano | Agropecuario | Agroindustrial | Industrial | Comercial | Riego | Turístico |
| ABANGARES   | 14                         | 1340293                     | 0,00                                     | 23,95          | 28,99        | 0,00           | 47,06      | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| BARRANCA    | 14                         | 201379                      | 0,00                                     | 5,17           | 24,36        | 0,00           | 70,47      | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| BARU        | 15                         | 87472,08                    | 0,00                                     | 44,59          | 54,87        | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,54  | 0,00      |
| BEBEDERO    | 8                          | 779101,6                    | 0,00                                     | 58,20          | 28,36        | 6,76           | 0,00       | 0,00      | 6,68  | 0,00      |
| CHIRRIPO    | 12                         | 965947,7                    | 0,00                                     | 5,42           | 0,07         | 0,00           | 94,52      | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| DAMAS       | 1                          | 2264760                     | 0,00                                     | 0,00           | 100,00       | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| ESQUINAS    | 3                          | 65279,52                    | 0,00                                     | 100,00         | 0,00         | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| FRIO        | 5                          | 70956,00                    | 0,00                                     | 4,00           | 0,00         | 96,00          | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| TARCOLES    | 139                        | 9977339                     | 0,00                                     | 45,01          | 6,56         | 7,44           | 31,02      | 0,01      | 9,97  | 0,00      |
| TERRABA     | 13                         | 760543,2                    | 8,56                                     | 3,17           | 11,49        | 76,78          | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| JESUS MARIA | 10                         | 121128,5                    | 0,00                                     | 27,99          | 39,18        | 0,00           | 14,84      | 0,00      | 17,9  | 0,00      |
| MATINA      | 5                          | 404843,4                    | 0,00                                     | 3,62           | 0,00         | 89,13          | 7,25       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| NARANJO     | 2                          | 60549,1                     | 0,00                                     | 97,40          | 0,00         | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 2,60  | 0,00      |
| PARRITA     | 10                         | 41178,24                    | 0,00                                     | 96,50          | 3,50         | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |

Recurso hídrico y saneamiento: avances y desafíos

| Cuenca              | Concesiones otorgadas 2015 | Volumen Concesionado litros | Patrones de uso del recurso concesionado |                |              |                |            |           |       |           |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|--|----------------|--------------|----------------|------------|-----------|-------|-----------|
|                     |                            |                             | Fuerza Hidráulica                        | Consumo Humano | Agropecuario | Agroindustrial | Industrial | Comercial | Riego | Turístico |
| PENINSULA DE NICOYA | 55                         | 2343452                     | 0,00                                     | 62,73          | 30,70        | 0,00           | 0,40       | 0,45      | 5,72  | 0,00      |
| PENINSULA DE OSA    | 1                          | 2128,68                     | 0,00                                     | 100,00         | 0,00         | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| POCOSOL             | 4                          | 57316,68                    | 0,00                                     | 15,41          | 0,00         | 84,59          | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| REVENTAZON          | 23                         | 2276976                     | 0,00                                     | 16,50          | 14,70        | 23,71          | 24,60      | 0,00      | 20,5  | 0,00      |
| SAN CARLOS          | 71                         | 22713453                    | 0,00                                     | 0,78           | 18,14        | 71,05          | 1,71       | 0,67      | 7,65  | 0,00      |
| SARAPIQUI           | 12                         | 992566,3                    | 0,00                                     | 53,65          | 13,24        | 13,39          | 0,60       | 4,07      | 15,1  | 0,00      |
| SAVEGRE             | 2                          | 946,08                      | 0,00                                     | 100,00         | 0,00         | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| SIXAOLA             | 1                          | 15768,00                    | 0,00                                     | 0,00           | 0,00         | 100,00         | 0,00       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| TEMPISQUE           | 26                         | 81269531                    | 0,00                                     | 0,32           | 51,32        | 47,84          | 0,00       | 0,00      | 0,51  | 0,00      |
| TORTUGUERO          | 5                          | 249607,4                    | 0,00                                     | 11,62          | 0,00         | 88,06          | 0,32       | 0,00      | 0,00  | 0,00      |
| TUSUBRES            | 6                          | 2760629                     | 0,00                                     | 38,62          | 61,32        | 0,00           | 0,00       | 0,00      | 0,06  | 0,00      |
| ZAPOTE              | 3                          | 352508,8                    | 0,00                                     | 2,77           | 27,11        | 54,12          | 0,00       | 0,00      | 16,0  | 0,00      |

**Fuente: Dirección de Aguas MINAE, 2016**

Del total del volumen concesionado durante el año 2015, el 35,5% se utilizó para abastecimiento humano, un 29,2% en agroindustria y un 19,7% en actividades agropecuarias mayoritariamente. Estos datos coinciden con la tendencia histórica de patrones de uso presentada hasta la fecha.

Numerosos estudios han reconocido que la intensificación de eventos climatológicos extremos (prolongadas sequías o ciclones tropicales) aumentaría la vulnerabilidad hidrológica de la región centroamericana. Cambios en el balance hidrológico o térmico podrían colapsar la conectividad de ecosistemas tropicales y, consecuentemente, impactar las actividades económicas y socio-culturales. Ante este desafiante escenario climático e hidrológico, es urgente que Costa Rica logre completar las siguientes brechas: **a)** la ausencia de un mapa hidrogeológico unificado, **b)** la determinación de balances

hídricos de alta resolución espacial (<1km<sup>2</sup>), **b**) la identificación de zonas de recarga subterránea y su conectividad con redes de abastecimiento de agua potable; **c**) la determinación de la sostenibilidad de la oferta hídrica, **e**) establecimiento de un programa de monitoreo continuo en fuentes subterráneas y superficiales y **f**) el desarrollo de un plan nacional de manejo y adaptación ante el cambio climático, con especial énfasis en eventos meteorológicos extremos. Por ejemplo, el conocimiento de los factores que controlan los patrones de precipitación y su correlación con la recarga de mantos acuíferos es un insumo indispensable para las agencias gubernamentales y ambientales en pos de priorizar esfuerzos y recursos en cuencas o sub-cuencas donde potenciales sequías podrían afectar abruptamente la seguridad y sostenibilidad hídrica nacional.

Desde el 2012, la Escuela de Química de la Universidad Nacional estableció el Grupo de Investigación en Isótopos Estables, que cuenta con un analizador isotópico de tecnología láser capaz de analizar  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  simultáneamente con gran precisión. Desde finales de 2013, como parte del proyecto global “Stable isotopes in precipitation and paleoclimatic archives in tropical areas to improve regional hydrological and climatic impact models” auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (Viena, Austria), se cuenta con una red de monitoreo isotópico en precipitación, aguas subterránea y superficial en todo el país, permitiendo establecer la línea base para estudios hidrogeológicos detallados (Figura 1). De igual manera, en 2016 se inició el proyecto de cooperación técnica ‘Seguridad y Sostenibilidad Hídrica en el Valle Central de Costa Rica’, una iniciativa que reúne a la Universidad Nacional, la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) y la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH SA). Este proyecto se enmarca en el establecimiento de una red de monitoreo hidro-meteorológica y de muestreo automático en la zona inter-montañosa norte del sistema de acuíferos Barva y Colima que permitirá determinar varios componentes hidrológicos. Los resultados de este proyecto aportarán la base científica necesaria para establecer programas y políticas para la gestión del recurso hídrico y la adaptación ante el cambio climático en la vertiente pacífica de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica.

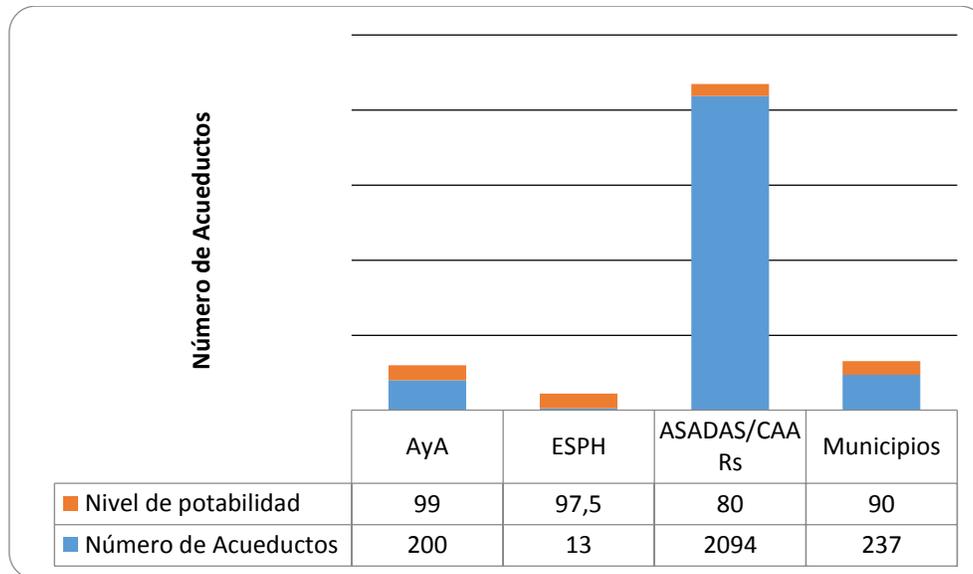
De acuerdo con los resultados preliminares publicados por este grupo de investigación, las señales isotópicas demuestran que dos tipos predominantes de fenómenos atmosféricos predominan en la generación de la precipitación en Costa Rica (procesos de convección versus procesos estratiformes). La presencia de estos procesos controla la señal o huella isotópica de la lluvia que, posteriormente, será rastreada en los mantos acuíferos o en la descarga de los cuerpos de agua superficial. Es así, como en la región del Caribe costarricense, es normal que la composición isotópica comprenda un rango desde +1 a -6 (‰)  $\delta^{18}\text{O}$ , el cual es característico de la lluvia generada por fuertes procesos convectivos (lluvias fuertes de corta duración y con un área de influencia de ~2 km). Por su parte, en el Pacífico costarricense, la composición isotópica se extiende en un rango de +1 a -15 (‰)  $\delta^{18}\text{O}$ , producto de una mayor influencia de fenómenos estratiformes (lluvias de menor intensidad y con un área de influencia de ~100 km). Estas señales químicas pueden ser rastreadas en los mantos acuíferos para comprender los procesos y velocidades de recarga subterránea. Las alteraciones de estos procesos de generación de precipitación, como consecuencia de la variabilidad y cambio climático, plantean un

reto nacional y regional para el manejo adecuado de recursos subterráneos y superficiales (Sánchez y Birkel, 2016).

En general, la composición isotópica en las aguas subterráneas refleja la composición isotópica promedio anual de la precipitación. En aguas superficiales, la señal isotópica durante el periodo de caudal base (mínimos caudales en ausencia de precipitación) representa la composición anual promedio de la precipitación. Sin embargo, durante la época lluviosa las aguas superficiales presentan una alta variación isotópica. En Costa Rica, existe una marcada separación hidrológica producto de a) la influencia de la cadena montañosa que divide al país en dos grandes vertientes (Pacífico y Caribe) y b) la distinción de los procesos físicos que generan los eventos de precipitación. Por ejemplo, en el Valle Central, se presenta una situación única en el sistema de acuíferos Barva y Colima, donde la influencia de lluvia con señal isotópica propia de la vertiente Caribe recarga principalmente el sector noreste, mientras que las lluvias con señal típica del Pacífico recargan en mayor medida el sector noroeste del sistema Barva y Colima. Lo anterior, tiene grandes implicaciones para el manejo integral del recurso hídrico, a la luz del patrón de precipitación que produce la presencia del fenómeno El Niño, que se traduce en un aumento de la precipitación en el Caribe y una notoria disminución en el Pacífico costarricense. Asimismo, la información isotópica demuestra que la recarga acuífera en la vertiente del Caribe es inmediata, puesto que no existe variación en la señal isotópica respecto a lo observado en la precipitación, es decir, la huella isotópica tanto en lluvia como en los mantos acuíferos es similar. Las variaciones isotópicas encontradas en los mantos acuíferos de la vertiente del Pacífico, indican que la recarga es lenta y ocurre significativamente cuando la precipitación alcanza 300 mm/mes, contrario a lo observado en la vertiente Caribe donde ocurre recarga significativa inclusive con niveles de 100 mm/mes de precipitación (Sánchez y Birkel, 2016).

### **Disponibilidad y acceso de agua potable en Costa Rica**

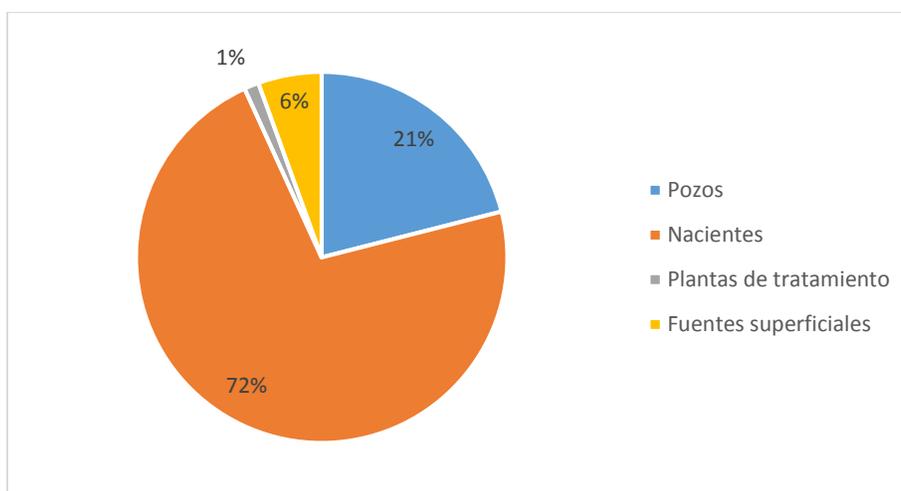
Durante el año 2015, el 99,4% de la población del país tuvo acceso a servicios de suministro de agua por tubería, ya sea interna o externa. El servicio de abastecimiento de agua en Costa Rica implica la participación de un amplio espectro de organizaciones que incluye desde instituciones públicas como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (Gráfico 1) operando un total de 200 acueductos con un nivel de cobertura de 46,7% del país y un 99% de potabilidad, hasta asociaciones comunales (ASADAS y CAARs) que contabilizan un total de 2094, con una población abastecida de aproximadamente 1 406 495 habitantes que acceden a agua con un potabilidad del 80%. Los municipios administran un total de 237 acueductos que brinda servicios al 14% de la población con un nivel de 97,5% de agua con calidad potable. Adicionalmente la Empresa de Servicios Públicos de Heredia posee 13 sistemas que son abastecidos con un nivel de potabilidad del 97,5% (Mora *et al*, 2016)



**Gráfico 1. Participación de los operadores de sistemas de abastecimiento por nivel de potabilidad para el año 2015. Fuente: Mora et al., 2016**

En total, la población abastecida de agua por los 4 tipos de entes operadores fue de 4 565 954 habitantes, para un 94,5% de la población total del país. Los acueductos suministraron agua con un porcentaje promedio de potabilidad del 91,7%. Mediante otros tipos de abastecimiento como la cañería intradomiciliar, pero sin acueducto oficial, la población cubierta fue de 156 623 habitantes (3,2%). De acuerdo con investigaciones recientes del AyA, la cobertura de agua de calidad potable ha incrementado de un 50% en el año 1991 a un 91,7% en el 2015. La mayoría de la población abastecida (76,6%) recibe agua sometida a controles de calidad, de este porcentaje el 89,3% recibe agua que se somete a algún sistema de tratamiento y/o desinfección (AyA, 2016).

El abastecimiento de agua en el país se realiza a través de 1 117 pozos, 3 833 nacientes, 68 plantas de tratamiento y 294 fuentes superficiales, que son utilizadas como fuentes por todos los operadores anteriormente mencionados (Gráfico 2). Estos datos posicionan al país con un cumplimiento satisfactorio en varias metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), logrando un 91% de acceso con “Fuentes de Agua Potable Mejoradas” (FAPM), además de cumplir con las exigencias la universalización del Derecho al Agua establecido en la propuesta de Ley de Gestión Integral de Recurso Hídrico (Mora *et al*, 2016).



**Gráfico 2. Distribución de las fuentes de abastecimiento de agua para consumo por categoría. Fuente: AyA, 2016.**

**Cuadro 2. Estimación general de cobertura y calidad de agua para consumo humano en Costa Rica, año 2015**

| Abastecimiento                   | N° Acueductos | Población % | Población con agua potable | Población con agua No Potable | N Acueductos |            |
|----------------------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|------------|
|                                  |               |             | %                          | %                             | Pot.         | No Pot.    |
| AyA                              | 200           | 46,7        | 99                         | 1                             | 175          | 25         |
| Municipalidades                  | 237           | 14          | 90                         | 10                            | 185          | 52         |
| ESPH                             | 13            | 4,7         | 97,5                       | 2,5                           | 11           | 2          |
| CAAR*/ASADAS*                    | 1.001         | 17,6        | 80                         | 20                            | 687          | 314        |
| CAAR*/ASADAS**                   | 1.093         | 11,5        | 80                         | 20                            | 750          | 343        |
| Población abastecida por cañería | 2.544         | 99,4        | 91,7                       | 8,3                           | 1.808        | 736        |
| Sin tubería: pozos-nacientes     | -             | 0,6         | 0                          | 100                           | -            | -          |
| <b>TOTALES</b>                   | <b>2.544</b>  | <b>100</b>  | <b>91,2</b>                | <b>8,8</b>                    | <b>1.808</b> | <b>736</b> |

- (1) Población estimada por el INEC con la ENAHO 2015.  
 \* Evaluados en el periodo 2013 al 2015, con un 80% de población con agua potable.  
 \*\* De acuerdo a la metodología se aplica el 80% obtenido en los acueductos evaluados.
- (2) Fuente: AyA, 2016.

## *Las Asadas y la mejora en la calidad del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano*

Las Asadas son estructuras prestatarias de servicios de abastecimiento de agua, que operan bajo un enfoque participativo, en comunidades ubicadas en zonas rurales alejadas del país donde existe una imposibilidad material por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de administrar el sistema. La ley constitutiva del AyA le da la potestad a esta institución para “convenir” con organismos locales la administración de sistemas rurales, utilizando la figura de juntas administradoras. El Decreto 29100-S, “Reglamento de las Asociaciones Administrativas de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados”, faculta al AyA a delegar, por medio de un “Convenio”, el sistema de acueducto a una asociación debidamente constituida bajo los principios de la Ley de Asociaciones. Tal como se mencionó anteriormente, las ASADAS administran un número importante de sistemas de abastecimiento con una cobertura cercana al 29,1% de la población y se han considerado como entes determinantes para la mejora del servicio de abastecimiento de agua potable al país (AyA, 2015).

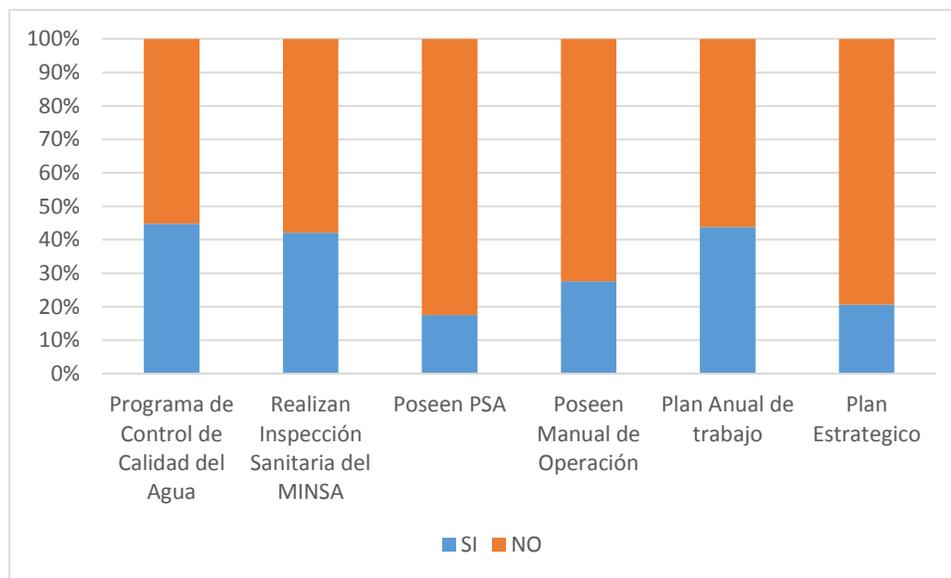
De acuerdo con un estudio realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional (LAA UNA), la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) y el Ministerio de Salud, durante el periodo 2014-2015, para la caracterización de la gestión realizada por las Asadas como entes operadores, se aplicaron encuestas a un total de 150 de estas organizaciones distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional. A continuación se puntualizan algunos de los aspectos más relevantes reportados en dicho estudio:

-Organizacionalmente, las Asadas son figuras de derecho oficialmente conformadas como asociaciones dirigidas por una Junta y como tal deben cumplir con ciertos requisitos y deberes. Los resultados obtenidos evidenciaron que solo el 71,8% posee estatutos actualizados, el 92,6% celebran asambleas, el 76,4% ejecutan un plan de afiliación y solamente el 81,1% realiza rendición de cuentas. Además, las Asadas son actores importantes en la realidad comunitaria y deben proyectarse hacia ella, sin embargo solamente un 13,5% de las Asadas evaluadas consideraron tener una participación comunitaria “activa”, mientras un 48% de estas consideran que la participación es de “poca” a nula.

-Un hecho relevante es que a pesar de que la función realizada por las Asadas como entes operadores requiere un amplio conocimiento que va desde temas técnicos relacionados con la operación de sistemas de potabilización, hasta la gestión social y

legislación, solamente un 43,9% de estas afirmaron haber recibido algún tipo de capacitación ya sea por ARESEP, INA, AyA o MINSA, por lo tanto este número aumentaría si se evaluaría la integralidad de conocimientos que han sido capacitados, ya que de este porcentaje la mayoría de las Asadas solamente contó con 1 o 2 capacitaciones. La capacitación es un tema importante para el aseguramiento del recurso hídrico en áreas vulnerables. No contar con un mayor porcentaje de personal capacitado podría significar que a los entes operadores están llegando nuevas directrices, programas y enfoques que no están siendo capaces de asimilar.

-En el tema de planificación (Gráfico 3), las asadas en su mayoría no cuentan con ningún instrumento formal documentado en esta materia, tales como planes, programas, manuales o controles que le permitan tener un panorama claro de sus alcances de operación. Resultan determinantes el incumplimiento de los Programas de Calidad de agua (55,2%), la ausencia de Manuales de Operación (72%) y la inexistencia de Planes Anuales de Trabajo (56,1%). A esto se puede sumar que solamente un 40% de las Asadas poseen planos y diseños del acueducto lo que incrementa el grado de informalidad de su operación.



**Gráfico 3. Cumplimiento de las Asadas con planes, programas o controles 2014-2015.**

Fuente: LAA-UNA, 2015

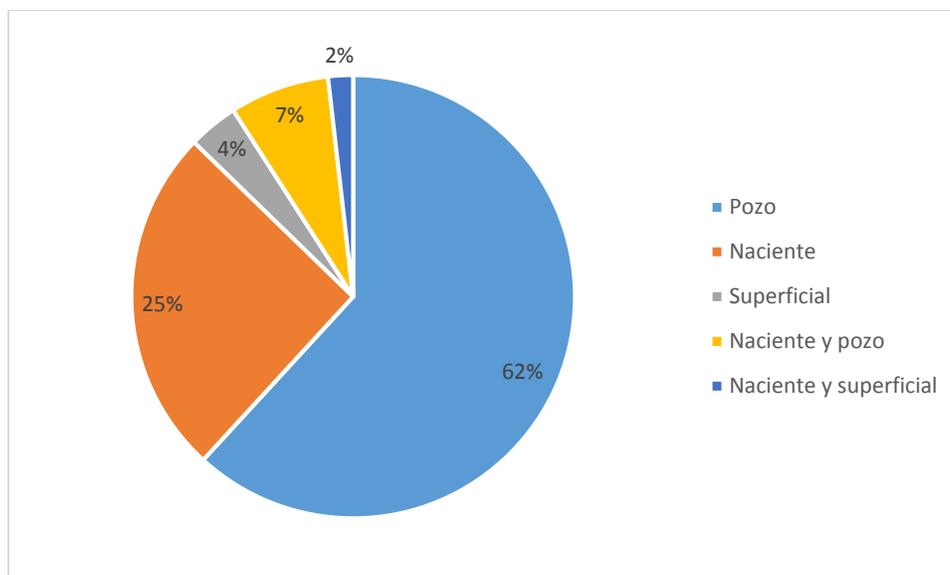
Como se mencionó anteriormente, en temas de visión y proyección de su gestión como entes operadores, se evidenció que las Asadas se han enfocado a cumplir con el criterio de potabilidad, más no existe una visión integral del manejo de recurso hídrico.

-La gestión de riesgo asegura una ruta de acción hacia la prevención de eventos que pueden afectar la salud de la población abastecida, la continuidad del servicio de

abastecimiento y el estado financiero de la asociación. Incluye aspectos como; la identificación de amenazas al sistema, la estimación de las vulnerabilidades de los diferentes componentes, la elaboración de planes de atención a emergencias, etc. Estos elementos se declararon mayoritariamente ausentes en la gestión de Asadas, con porcentajes superiores al 66% de incumplimiento en cada componente antes mencionado. Lo mismo sucedió con el desarrollo de acciones en el ámbito de la gestión ambiental como; la compra de terrenos para la protección de nacientes y la realización de acciones de educación ambiental. Para los anteriores rubros solamente declararon realizar alguna acción el 23,7 y 20,3% de las Asadas encuestadas, respectivamente. El mantenimiento preventivo es un aspecto con mejoras dentro de la gestión integral (60% cuentan con programas de mantenimiento preventivo) más sin embargo sigue ubicándose dentro del área operativa para la potabilización.

-El tema de calidad de servicio presenta mejores resultados para las asadas. El 100% de estas realizan análisis periódicos de calidad de agua potable, sin embargo se desconoce del cumplimiento de parámetros. Solamente un 2% afirmaron que su servicio de agua potable es para menos del 50% de la población abastecida, el 44% afirmó que toda la población abastecida recibe agua de calidad y el 9% la brinda a más de un 50% de la población.

-Un 62% de las fuentes de agua utilizadas por las asadas monitoreadas corresponden a pozos, ubicándose como la principal fuente utilizada, seguida de las nacientes (25%) y las captaciones superficiales (4%). Si se consideran las fuentes como el eje vital en la operación de abastecimiento de agua se concluye que el manejo actual diagnosticado no procura la sostenibilidad del recurso. El 55,9% de las fuentes identificadas no poseen concesión del MINAE, a pesar de que se realiza vigilancia periódica en la mayoría de ellas (88,1%), no se cuentan con condiciones de acceso, demarcación y cumplimiento de área de protección legal y cerca de protección, aspectos que atentan contra el estado de la fuente.



**Gráfico 4. Distribución de las fuentes de abastecimiento utilizadas por Asadas 2014-2015.**  
Fuente: LAA UNA

La mayoría de estos entes no cuentan con estudios hidrogeológicos que permitan conocer como direccionar acciones para el aseguramiento y protección de fuentes de agua. Solamente un 11,9% de las Asadas monitoreadas han realizado esfuerzos para la adquisición de terrenos que garanticen la protección de fuentes.

### *La calidad del servicio de abastecimiento de agua potable en el país*

La ARESEP analiza periódicamente diferentes variables relacionadas con el servicio de abastecimiento de agua que brindan los operadores en materia de cobertura, calidad y continuidad. De acuerdo con los estudios realizados durante el 2015, la ESPH toma el primer lugar en la calidad de servicio brindado a la población, de acuerdo con el IGG (Índice Global de Gestión) posición que mantiene desde años anteriores, y además cumple con los niveles de calidad de agua potable definidos por la reglamentación nacional, incumpliendo solamente con el indicador de continuidad en el servicio de alcantarillado.

**Cuadro 3. Resultados del IGG para entes operadores de agua potable en Costa Rica, años 2014-2015.**

| Ente operador         | 2014 | 2015 |
|-----------------------|------|------|
| ESPH, S.A.            | 69%  | 70%  |
| AyA. PACIFICO CENTRAL | 47%  | 49%  |
| AyA. CHOROTEGA        | 35%  | 46%  |
| AyA. BRUNCA           | 36%  | 33%  |
| AyA. HUETAR ATLANTICA | 32%  | 32%  |
| AyA. METROPOLITANA    | 32%  | 32%  |
| AyA. CENTRAL OESTE    | 32%  | 26%  |

Fuente: ARESEP, 2016

Por otra parte el AyA, fue el ente operador que presentó mayores incumplimientos en los análisis de calidad del agua realizados durante el 2015. Para esta institución en general, las regiones tuvieron una mejora en el indicador, exceptuando Brunca y Central Oeste, esta última ubicándose con la menor puntuación (26%), de acuerdo con los estudios. Sus deficiencias se relacionan a su bajo desarrollo del servicio de alcantarillado, el alto nivel de pérdidas de agua en el acueducto y el bajo control en la calidad del agua. La región Pacífico Central obtuvo la mejor calificación. Los progresos de la Región Chorotega indican un mejor cumplimiento del control de calidad del agua y a un menor nivel de quejas comerciales.

En general, los resultados de los estudios realizados por la ARESEP indican que los entes operadores (AyA y ESPH) distribuyen agua con buena calidad microbiológica pero con deficiencias en la continuidad del servicio (ARESEP, 2016). Los indicadores con mayor incumplimiento son la calidad de agua y las pérdidas en red.

## Avances en el tema

### ***Mejoras en el Reglamento de Calidad de Agua Potable***

Durante el año 2015, el Ministerio de Salud de Costa Rica publicó el nuevo Reglamento de Calidad de Agua Potable (No.38924-S) en sustitución del No 32327-S, en busca de garantizar la protección y mejoramiento del estado de salud de la población mediante el establecimiento de nuevos límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y la introducción de nuevas formas de gestión del agua potable para todo ente operador público o privado.

En términos generales el nuevo Reglamento de Calidad de Agua Potable (No.38924-S) no solo establece los criterios de cumplimiento de calidad del agua potable si no que

clarifica los lineamientos requeridos para generar una gestión real del recurso hídrico destinado para uso y consumo humano en busca de la mejora continua de los entes operadores. A diferencia del reglamento anterior, este nuevo instrumento ofrece mayores exigencias de orden, normalización, evaluación de la operación, rendición de cuentas, entre otras, las cuales eran casi ausentes en el anterior.

Este decreto puede considerarse como el resultado de investigaciones a nivel país que concluían constantemente en la necesidad de fortalecer y oficializar la operación de los entes administradores del abastecimiento de agua potable. Principalmente desde la perspectiva de reducir vulnerabilidades. A continuación se desarrollan algunas de las principales modificaciones realizadas al Reglamento:

- Alcance: De acuerdo con el artículo dos del nuevo reglamento, las disposiciones para potabilidad del agua son aplicables y reguladas para todo operador público o privado ya sea para consumo humano o uso en procesos productivos, en este último caso no se mostraba de manera clara en el antiguo reglamento, ya que solamente mencionaban sistemas de suministro de agua potable, pero no indicaba el fin.
- Cambio del concepto de “Valor recomendado” por “Valor de alerta”: el Valor Alerta (VA) se define como “aquella concentración de sustancias químicas que implica un riesgo mínimo o aceptable para la salud de los consumidores y que es utilizado por el ente operador y por el Ministerio de Salud antes de que exceda el Valor Máximo Admisible” y difiere del Valor Recomendado (utilizado en el reglamento anterior) en que pretende dar una connotación distinta al análisis de los resultados de la calidad del agua potable generando una llamada de atención en vez de aprobación.
- Introducción del concepto “área de influencia”: Se establece la gestión de la calidad del recurso más allá de las fuentes de abastecimiento, integrando la visión de manejo integrado de cuencas a las funciones de los entes operadores, lo cual requiere el monitoreo permanente y sistemático de zonas de recarga, áreas de drenaje y fuentes de agua.
- Entes operadores deben contar con Permisos Sanitarios de Funcionamiento (PSF): Esta premisa marca una diferencia contundente en la administración del recurso ya que entes operadores como las Asadas deben contar con Permisos Sanitarios de Funcionamiento (PSF) para trabajar, lo cual no era así anteriormente. Además los entes operadores que se dediquen exclusivamente a la operación de un sistema de suministro de agua, se clasifican como Tipo A (alto riesgo), por lo que requieren de inspección previa al otorgamiento del PSF.

- Niveles de Control de Calidad del Agua y Parámetros de Análisis Obligatorio: Se adiciona un nuevo nivel de control llamado “Nivel de control operacional (CO)” que le corresponde a los entes operadores. Las mediciones son periódicas e incluyen parámetros que anteriormente se monitoreaban mediante el Nivel 1. (turbiedad, olor, sabor y cloro residual libre). El cumplimiento de este nivel requiere que los entes operadores cuenten con equipo básico de laboratorio para el monitoreo en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes y red de distribución, y llevar el control mediante una bitácora, exigiendo mejoras en las capacidades operativas de los entes operadores.
- Línea base de calidad: El nuevo reglamento establece que los operadores deben levantar una línea base mediante la realización de análisis de Nivel 1 y Nivel 2. Esto permitiría establecer precedentes en el comportamiento de fuentes y redes para identificar problemas y eventuales necesidades de monitoreo. Este aspecto era ausente en el reglamento anterior, lo cual impedía conocer en sistemas de nivel 1 si existían problemas con las fuentes de agua, como por ejemplo presencia de metales.
- Especificaciones sobre la toma de muestras: se busca eliminar errores de muestreo previendo que la recolección de muestras sea realizada exclusivamente por funcionarios del laboratorio contratado, este lineamiento no se establecía con anterioridad.
- Reportes de la calidad del agua potable: Este aspecto también es un precedente en la administración del recurso hídrico para consumo humano, y se espera una importante herramienta de gestión que impulse la mejora continua en los entes operadores. Las especificaciones para el desarrollo de reportes fueron establecidas con claridad por el reglamento. Por otra parte se remitirán semestralmente y de oficio a los entes operadores del sistema de suministro de agua un “Informe de cumplimiento o incumplimiento de la normativa de la calidad del agua potable” fundamentado en diferentes criterios según los niveles de control de calidad, bajo estos informes la Dirección del Área Rectora de Salud (DAR) puede emitir orden sanitarias. La creación de reportes de calidad e informes de cumplimiento no se encontraba reglamentada en el anterior decreto.
- Mejores especificaciones al Programa de Control de Calidad del Agua: El nuevo reglamento incluye como componentes nuevos áreas de influencia para zonas de abastecimiento e identificación de riesgos para componentes del sistema como aspectos a incluir en la identificación del área de trabajo. Estas áreas deben definirse detalladamente permitiendo conocer el panorama de acción del operador. Anteriormente solamente se definían áreas de abastecimiento que incluyeran los

componentes de captación, almacenamiento y distribución y no se especificaba como identificarlos.

- Programa de vigilancia sanitaria: se modifica el desarrollo de programas de vigilancia por parte del Ministerio de Salud. El actual reglamento determina su desarrollo mediante la aplicación de metodologías ya establecidas (Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA)) que permitan conocer las condiciones de riesgos del ente operador y tomar decisiones para la exigencia de mejoras.
- Vigilancia Estatal: se establece el desarrollo de controles cruzados por parte de las DARS. Además se establece un mecanismo de financiamiento mediante la creación de un Fideicomiso. Este aspecto es novedoso por parte del nuevo reglamento.
- Cambios en las frecuencias de muestreo y cantidad de muestras: en aspectos generales las frecuencias de muestreo son más estrictas para niveles operativos y N1 y menos frecuentes para niveles N2 y N3. Además el margen de población atendida es más amplio generando menos categorías de atención diversificada para el desarrollo de controles. La cantidad de muestras en la mayoría de los casos es superior o igual.
- Parámetros de análisis por nivel de control: Con la creación de un nuevo nivel de control se modificaron los parámetros de control por nivel de control de calidad para el Nivel 1 y demás niveles (cuadro 4). Solamente se incluyó un nuevo análisis en los tres primeros niveles (Cianuro). Los cambios en los límites máximos son mínimos (específicamente Aluminio y Calcio). Los principales cambios se muestran en la inclusión de todos los plaguicidas en el nivel 4.

**Cuadro 4. Comparación de análisis físico-químicos para la calidad del agua potable de los Reglamentos de calidad de agua potable emisión 2005 y 2015.**

| Análisis             | UD              | Valor recomendado (alerta) | Max admisible | Nivel de control |           | Modificaciones  |               |
|----------------------|-----------------|----------------------------|---------------|------------------|-----------|-----------------|---------------|
|                      |                 |                            |               | 2005             | 2015      | Valor de alerta | Max admisible |
| Turbiedad            | UNT             | 1                          | 5             | N1               | CO        |                 |               |
| Olor                 |                 | Aceptable                  | Aceptable     | N1               | CO        |                 |               |
| Sabor                |                 | Aceptable                  | Aceptable     | N1               | CO        |                 |               |
| <b>pH</b>            | <b>Valor pH</b> | <b>6,5</b>                 | <b>8,5</b>    | <b>N1</b>        | <b>CO</b> | <b>6</b>        | <b>8</b>      |
| Cloro residual Libre | mg/L            | 0,3                        | 0,6           | N1               | CO y N1   |                 |               |
| Color aparente       | mg/L            | 5                          | 15            | N1               | N1        |                 |               |
| Conductividad        | µS/cm           | 400                        | -             | N1               | N1        |                 |               |

Recurso hídrico y saneamiento: avances y desafíos

| Análisis                   | UD                     | Valor recomendado (alerta) | Max admisible  | Nivel de control |                  | Modificaciones  |               |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|---------------|
|                            |                        |                            |                | 2005             | 2015             | Valor de alerta | Max admisible |
| <i>Escherichia coli</i>    | NMP o UFC/100ml        | Ausente                    | Ausente        | N1               | N1               |                 |               |
| Cloro residual combinado   | mg/L                   | 1                          | 1,8            | N1               | N1               |                 |               |
| Temperatura                | C                      | 18                         | 30             | N1               | Eliminado        |                 |               |
| <b>Coliforme fecal</b>     | <b>NMP o UFC/100ml</b> | <b>Ausente</b>             | <b>Ausente</b> | <b>N1</b>        | <b>Eliminado</b> |                 |               |
| <b>Aluminio</b>            | <b>mg/L</b>            |                            | <b>0,2</b>     | <b>N2</b>        | <b>N2</b>        |                 | <b>0,2</b>    |
| <b>Calcio</b>              | <b>mg/L</b>            | <b>100</b>                 | -              | <b>N2</b>        | <b>N2</b>        |                 | <b>100</b>    |
| Cloruro                    | mg/L                   | 25                         | 250            | N2               | N2               |                 |               |
| Cobre                      | mg/L                   | 1                          | 2              | N2               | N2               |                 |               |
| <b>Dureza total</b>        | <b>mg/L</b>            | <b>400</b>                 | <b>500</b>     | <b>N2</b>        | <b>N2</b>        | <b>300</b>      | <b>400</b>    |
| Fluoruro                   | mg/L                   | -                          | 0,7-1,5        | N2               | N2               |                 |               |
| Hierro                     | mg/L                   | -                          | 0,3            | N2               | N2               |                 |               |
| Magnesio                   | mg/L                   | 30                         | 50             | N2               | N2               |                 |               |
| Manganeso                  | mg/L                   | 0,1                        | 0,5            | N2               | N2               |                 |               |
| Potasio                    | mg/L                   | -                          | 10             | N2               | N2               |                 |               |
| Sodio                      | mg/L                   | 25                         | 200            | N2               | N2               |                 |               |
| Sulfato                    | mg/L                   | 25                         | 350            | N2               | N2               |                 |               |
| Zinc                       | mg/L                   | -                          | 3              | N2               | N2               |                 |               |
| Nitrato                    | mg/L                   | 25                         | 50             | N2               | N3               |                 |               |
| Plomo                      | mg/L                   | -                          | 0,01           | N2               | N3               |                 |               |
| Amonio                     | mg/L                   | 0,05                       | 0,5            | N3               | N3               |                 |               |
| Antimonio                  | mg/L                   | -                          | 0,005          | N3               | N3               |                 |               |
| Arsénico                   | mg/L                   | -                          | 0,01           | N3               | N3               |                 |               |
| Cadmio                     | mg/L                   | -                          | 0,003          | N3               | N3               |                 |               |
| <b>Cianuro</b>             | <b>mg/L</b>            | -                          |                | <b>No existe</b> | <b>N3</b>        |                 | <b>0,07</b>   |
| Cromo                      | mg/L                   | -                          | 0,05           | N3               | N3               |                 |               |
| Mercurio                   | mg/L                   | -                          | 0,001          | N3               | N3               |                 |               |
| Níquel                     | mg/L                   | -                          | 0,02           | N3               | N3               |                 |               |
| Nitrito                    | mg/L                   | -                          | 0,1-3          | N3               | N3               |                 | 0,01          |
| Selenios                   | mg/L                   | -                          | 0,01           | N3               | N3               |                 |               |
| Plaguicidas                |                        |                            |                | No existe        | N4               |                 |               |
| Plaguicidas organoclorados |                        |                            |                | No existe        | N4               |                 |               |
| Total plaguicidas          |                        |                            |                | No existe        | N4               |                 |               |
| Microorganismos            |                        |                            |                | No existe        | N4               |                 |               |

Nota: Los parámetros para nivel 4 (Sustancias orgánicas, parámetros físicos e inorgánicos y desinfectantes y sub productos de desinfección) del antiguo y nuevo reglamento de calidad de agua potable no mencionados en el cuadro no presentaron cambios. Fuente: MINSA, 2005, 2015.

## *Progresos en la gestión del recurso hídrico por parte del AyA*

La corrección de debilidades a nivel interno de las entidades encargadas del manejo del recurso hídrico es clave para el avance en la gestión, según lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 “Alberto Cañas Escalante” mediante el eje Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria del Agua, el cual incide principalmente sobre el modelo de trabajo de los acueductos comunales (MIDEPLAN, 2014).

Durante el periodo 2014-2015, el AyA desarrolló un piloto del “Programa de Asistencia Técnica para las Asadas” que dio como resultado la versión preliminar del manual de gestión integral de riesgos en organizaciones comunitarias del agua. Adicionalmente, se obtuvieron avances importantes relacionados con el diseño de un manual de micromedición para las asadas que forma parte del programa de “Agua no Contabilizada” y otros programas de soporte, transparencia y rendición de cuentas.

Además se mencionan los siguientes esfuerzos puntuales:

- Proyecto “Fortalecimiento de capacidades para enfrentar el Riesgo Climático en zonas vulnerables”, con alcance a 305 asadas de 14 cantones de la Región Chorotega y Zona norte del país.
- Proyecto “Agua para consumo humano, comunidades y cambio climático”, con una cobertura en una primera etapa de 80 Asadas pertenecientes a 14 cantones, de la zona costera norte del país.
- Gestión comunitaria para la protección sostenible del recurso hídrico en la Región Chorotega. Incluye 97 Asadas y como segunda etapa 114
- Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades, con alcance en una primera etapa de 37 Asadas de la Región Pacífico Central, considerando para las siguientes etapas un total de 100 Asadas.
- Construcción de la Política de Fortalecimiento del Sistema AyA-ASADAS mediante la participación de representantes de las diferentes regiones del país (más de 1 000 asadas). Esta Política deja claro los principios consensuados de la gestión comunitaria de abastecimiento de agua en el país, así como las reglas del juego, las cuales resultan el insumo para la modificación del Reglamento de Asadas y posteriormente del Convenio de Delegación. Se distinguieron dos procesos en paralelo, el primero es el conocimiento del estado de las ASADAS a través de la caracterización de las mismas y el segundo es un proceso de construcción participativa de una política de Fortalecimiento del Sistema AyA-ASADAS. Un resultado importante fue la creación de una herramienta integrada de

caracterización tanto de fuentes de agua como de las asadas, que se pretende aplicar de forma digital mediante un programa llamado SAGA que actuara de manera integrada con otras entidades como el MINSA, SENARA y MINAE. La aplicación de esta herramienta integrada de caracterización, iniciará con 305 asadas.

- Se inició la formulación de un Plan Nacional de Fortalecimiento de Capacidades, labor en la cual se participó a la academia, así como a otras organizaciones no gubernamentales y empresas privadas. Se están revisando y ajustando los programas de capacitación que se imparten actualmente en cooperación con el INA.
- Durante el 2015 se realizaron 129 estudios hidrogeológicos nuevos, como continuación de estudios previos, emisión de criterios y elaboración de informes.
- Se concluyó con el proyecto de georeferenciación de fuentes aprovechadas por asadas y se inició el proceso para acueductos administrados por municipios.
- Se tramitó la donación de filtros de agua a poblaciones de Abangares y Carrillo.
- Suministro de agua potable y saneamiento en áreas rurales: Durante el 2015 se iniciaron obras de ampliación del acueducto en el territorio indígena Maleku que beneficiará a 1 675 habitantes de esta comunidad. Las acciones forman parte del “Programa de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Rurales”; cuya inversión es de \$565 700 monto disponible mediante Convenio de Préstamo No Reembolsable AyA-BID y con la donación de Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. El programa tiene un total de 34 proyectos que se iniciaron durante el periodo 2014-2015 (cuadro 5).

**Cuadro 5. Grado de Avance de los proyectos de Acueductos comunales iniciados en el período 2014-2015.**

| Lugar                                      | Avance | Población Beneficiada |
|--|--------|-----------------------|
| San Rafael de Guatuso                      | 100%   | 9660                  |
| Chires arriba y Debajo de Puriscal         | 97,73% | 1044                  |
| Cajón de PZ (sector las brisas) III Etapa  | 62,71% | 1377                  |
| Cajón de PZ I Etapa                        | 93%    | 15804                 |
| Cajón de PZ II Etapa                       | 93,58% |                       |
| Bolivia y San Gerardo de Platanares        | 96,58% |                       |
| Caño Castilla y las Delicias de los Chiles | 99     | 240                   |
| Dos Aguas de los Chiles                    | 58,21% | 1668                  |
| Pital de San Carlos                        | 98,22% | 6630                  |
| Boca Arenal                                | 48,47% | 5228                  |

| Lugar                                    | Avance | Población Beneficiada |
|--|--------|-----------------------|
| Las Delicias                             | 20%    | 1800                  |
| Alto Quetzal de Turrialba                | 93,89% | 168                   |
| Gerica y Chilamate de Sarapiquí II Etapa | 98,88% | 10800                 |
| Copal Nicoya                             | 33,77% | 1595                  |
| Vanillal Nicoya                          | 75%    | 165                   |
| Plangosta de Hojanca                     | 82,61% | 605                   |
| Concepción de Pilas de Buenos Aires      | 92,44% | 788                   |
| Santa Rosa de Buenos Aires               | 98,41% | 355                   |
| Costa de Pájaros                         | 94,88% | 6396                  |
| Pococí, El cruce de Anabam               | 19,61% | 1056                  |

Fuente: AyA, 2015.

- Entre Marzo 2014 y Marzo 2015 se llevaron a cabo 76 proyectos de instalación, reparación y mejora de los sistemas de desinfección en acueductos rurales, beneficiando a una población de 30 252 personas, principalmente de las provincias con mayores niveles de pobreza, Puntarenas (26 486 personas) y Limón (3 766 personas).

### *Atención ante el cambio climático*

Con respecto al trabajo sobre áreas vulnerables del país, se ha progresado en la resolución de necesidades para la provincia de Guanacaste planteadas en el Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (PNGIRH) (MINAET, 2008). Respaldándose en la declaratoria de emergencia emitida en el año 2014 causado por la sequía en 19 cantones del país, durante el año 2015, el AyA emprendió trabajos de reconocimiento de necesidades en entes operadores de agua potable, entre ellos asadas. Para el año 2016 se proyecta el inicio de atención de necesidades identificadas como: estudios técnicos e hidrogeológicos.

### *Resolución de problemática de contaminación por Arsénico*

Para el año 2015, el AyA reportó un grado de avance del 99% en la solución del problema de arsénico en aguas para consumo humano en Guanacaste que aquejaba a la población desde el 2012. Para resolver esta situación fue necesaria la instalación de 6 plantas de tratamiento dado que no fue posible encontrar fuentes alternativas limpias de arsénico para abastecer a la población (Astorga citado por: Rojas, 2015). Las plantas removedoras iniciaron su operación en agosto del 2014 en las comunidades de: Bebedero de Cañas Montenegro y Aguacaliente de Bagaces Quintas Don Miguel y El Recreo de Bagaces Falconiana de Bagaces, Santa Cecilia del Amparo de Los Chiles y Cristo Rey de Los Chiles. La inversión calculada por parte del AyA fue aproximadamente del 1 500 millones de colones.

## Aguas subterráneas

Actualmente Guanacaste es sin duda la región que se encuentra bajo el foco de atención para la gestión del recurso hídrico. En los últimos años esta zona ha experimentado no solamente conflictos sociales por la disponibilidad y acceso al recurso, debido al alto crecimiento turístico que compite con los pobladores por el uso del recurso, si no también eventos importantes de contaminación (arsénico), y afectaciones potenciadas por el cambio climático.

Durante el 2014, el aumento de temperatura del mar se registró cercano a 0,5°C por encima del promedio, producto del fenómeno del niño (ENOS) ocasionando varios impactos climáticos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Entre enero y mayo del 2014, se registraron porcentajes de déficit de lluvia en todo el país que oscilan entre 20% y 42%. De esta forma mientras que la vertiente Caribe mostró una relativa recuperación, en Guanacaste se acentuó la falta de lluvia.
- Los modelos predictivos del Fenómeno El Niño analizados por el IMN, señalaron un aumento en el calentamiento de la región del océano Pacífico en los meses siguientes de julio – agosto mostrando déficits de lluvias entre un 40% y un 60%, acentuándose el impacto existente y extendiéndose a otras regiones del país, como el Valle Central y Pacífico Central. Para agosto del 2014, el sector agropecuario de la región Chorotega, reporta oficialmente afectación por sequía en toda la región, que se puede considerar severa en algunos cantones de la Provincia.

Estos antecedentes dieron como resultado la publicación de la Declaratoria de Estado de Emergencia para Guanacaste (30 de setiembre del 2014) indicando el mayor faltante de lluvias para Guanacaste, en donde el déficit porcentual fue de hasta un 60% (hasta agosto del 2014) con relación al promedio anual en sectores como Liberia y La Cruz, convirtiéndose la zona en una de las más afectadas por la sequía, que es la más intensa desde 1950. Como ejemplo, la estación del aeropuerto en Liberia registró solo 3 mm de precipitación en Julio, lo que representa un déficit del 98%, datos similares se registran en mayo, declarado como el mayo más seco de los últimos 30 años.

Definitivamente los cambios en los patrones de precipitación son un factor determinante en la disponibilidad de aguas subterráneas. Estudios realizados por el SENARA indicaron que para el 2014 en los acuíferos de Potrero-Caimital se registraron 7 pozos secos y para el acuífero de Huacas-Tamarindo, 9 casos de pozos secos. Las conclusiones apuntan a la posibilidad de incremento de estas cifras debido a creación de más pozos para suplir la demanda del recurso para la producción agropecuaria, el abastecimiento público y las

zonas turísticas. Otros efectos son, la disminución de los caudales de producción de los pozos, mayor consumo energético por la explotación, mayor cantidad de pozos secos, desabastecimiento de la población y afectación a la actividad turística (SENARA, 2015). De acuerdo con la Declaratoria de emergencia esta situación puede ser generalizada para la Península de Nicoya y no solamente para los acuíferos mencionados con anterioridad.

En el caso del acuífero Potrero Caimital no se esperan afectaciones por intrusión salina solamente la disminución de caudal, lo que además de provocar el desabastecimiento de la población propia del acuífero genera afectaciones en las comunidades de Nicoya y Hojancha, que cuentan con pozos de abastecimiento ubicados en este acuífero. El acuífero Huacas-Tamarindo se considera en condición de estrés hídrico debido a que en los últimos años la tendencia en la curva muestra un descenso de 4 metros sobre la línea base 2005-2010, lo cual representa un 20% de la capacidad, considerando el espesor máximo de 20 metros (SENARA, 2015).

Las acciones tomadas como consecuencia de estos resultados se describen a continuación:

- Directriz de la Dirección de Aguas del MINAE de denegar permisos de perforación de pozos para la explotación en estos acuíferos (pozos nuevos o aumento en los caudales actuales), impedimento que se mantendrá hasta tanto se demuestre con estudios técnicos que la situación actual haya cambiado.
- Directriz emitida al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en relación con el campo de pozos Refundores, de conformidad con el estudio técnico realizado por el SENARA contenido en oficio número DIGH-UGH-OF-125- 2013, para que de inmediato se proceda a realizar acciones tendientes a disminuir paulatinamente la explotación de ese campo de pozos e iniciar un monitoreo automatizado del acuífero con el fin de medir los niveles de abatimiento, el efecto en el estero y control de salinidad y de conductividad en los pozos de explotación. Lo anterior debido a que dicho campo de pozos presenta altos niveles de explotación que han ocasionado la inversión del gradiente hidráulico contaminando el acuífero y disminuyendo el aporte de agua al estero, con riesgo de causar la salinización del acuífero y del estero.
- En relación con las fuentes de agua de abastecimiento público ubicadas en el acuífero Potrero Caimital, el AyA debe realizar la valoración y monitoreo periódico de la calidad de aguas de los pozos de abastecimiento público localizados en el acuífero Potrero Caimital, y monitoreos de los caudales de extracción tanto a los pozos como a la toma de agua superficial localizada en el río Potrero.

- Por su parte la Municipalidad de Santa Cruz, el Ministerio de Ambiente y Energía, SINAC y el AyA deben coordinar con SENARA las acciones que estén realizando o pretendan realizar en los acuíferos Potrero, Brasilito, Huacas-Tamarindo y Nimboyores en Santa Cruz.
- El Ministerio de Agricultura y Ganadería debe promover la aplicación de protocolos de buenas prácticas agrícolas para evitar posibles contaminaciones al acuífero Potrero Caimital, ya que el agua de riego podría estar generando una recarga inducida al acuífero con un posible riesgo de contaminación a este.

El diagnóstico del uso del recurso hídrico en esta región indico que para el 2015 el aprovechamiento por fuentes subterráneas ocupa una proporción mayor en comparación con las fuentes hídricas superficiales: entre concesiones e inscripciones, se contabilizan 780 puntos de toma de fuentes superficiales contra 1484 tomas cuya agua proviene de pozos perforados, la concentración de inscripciones y concesiones de pozo se ubicó en los cantones de Carrillo y Santa Cruz (Sandí et al, 2016).

### Aguas residuales: Avances y asuntos pendientes

Con respecto al uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, no se registran cambios significativos en la tendencia, dado que sigue prevaleciendo el uso de tanques séptico sobre el alcantarillado (con y sin tratamiento), con un 76,9% y 21,1% respectivamente. El porcentaje de cobertura del tanque séptico aumento un 73% para el 2013 a un 76% para el 2015 (Mora *et al*, 2015), lo cual es positivo en términos de reducción de población sin tratamiento de aguas residuales.

El manejo de alcantarillado sanitario es deficiente en zonas rurales (5%) en comparación con zonas urbanas (27,7%). Las regiones con menor infraestructura pública de saneamiento (alcantarillado o cloaca) son la Región Huetar Norte y Chorotega (3,4 y 6,1%) en contraste con la Región Central en la que el 28% de la población cuanta con estos sistemas.

**Cuadro 4. Población según tipo de disposición de excretas o servicios sanitarios en Costa Rica 2015**

| Poblaciones                  | Conectado a tanque séptico | Conectado a alcantarillado o cloaca | Otros         | No tienen     |
|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Total 4,833,752 (100%)       | 3.714.532 (76,9%)          | 1.020.929 (21,1%)                   | 78.162 (1,6%) | 20.129 (0,4%) |
| <b>Zona</b>                  |                            |                                     |               |               |
| Urbana: 3,512,683 (72,7%)    | 2.526.620 (72,0%)          | 948.465 (27,0%)                     | 23.821 (0,6%) | 13.777 (0,4%) |
| Rural: 1,321,069 (27,3%)     | 1.187.912 (89,9%)          | 72.464 (5,5%)                       | 54.341 (4,1%) | 6.352 (0,5%)  |
| <b>Región</b>                |                            |                                     |               |               |
| Central: 3.009.724 (62,3%)   | 2.116.226 (70,3%)          | 867.924 (28,8%)                     | 16.988 (0,6%) | 8.586 (0,3%)  |
| Chorotega: 365.905 (7,6%)    | 328.578 (89,8%)            | 22.151 (6,1%)                       | 13.697 (3,7%) | 1.479 (0,4%)  |
| P. Central: 280,124 (5,9)    | 239.716 (85,6%)            | 35.791 (12,8%)                      | 3.061 (1,1%)  | 1.556 (0,5%)  |
| Brunca: 358,877 (7,4%)       | 321.179 (89,5%)            | 25.553 (7,1%)                       | 11.587 (3,2%) | 558 (0,2%)    |
| H. Atlántica: 433,883 (8,9%) | 358.804 (82,7%)            | 56.042 (12,9%)                      | 15.224 (3,5%) | 3.813 (0,9%)  |
| ]H. Norte: 385,239 (7,9)     | 350.029 (91,0%)            | 13.468 (3,4%)                       | 17.605 (4,6%) | 4.137 (1,0%)  |

Fuente: Encuesta de Hogares 2015 y LNA.

Fuente: Mora et al., 2015.

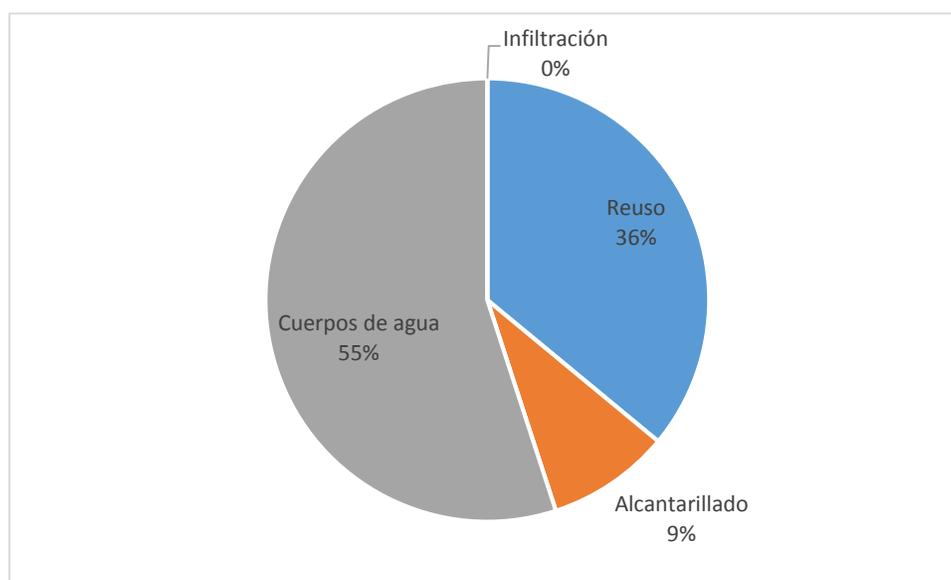
El rezago del país en materia de infraestructura y tecnologías para el tratamiento de aguas residuales se traduce en una constante y creciente contaminación de los cuerpos de agua superficiales que reciben descargas de: sistemas de tratamiento disfuncionales, aguas sin tratamiento previo, aguas de alcantarillado o cloaca sin tratamiento previo o población sin sistema de tratamiento (0,4%). La mejora de esta situación implica una inversión en infraestructura que ronda en un monto estimado de 1 400 millones de dólares (Araya, 2014).

Para el 2014 el Programa de Mejoramiento Ambiental de la GAM únicamente había sustituido redes sanitarias, sin ampliarlas. Se incluye la inauguración de la construcción del Túnel de trasvase que conducirá las aguas residuales del sur de la GAM a la planta de tratamiento los Tajos, este túnel tiene un costo aproximado de 9 000 millones de colones y se establecen 15 meses para su finalización.

Para el 2015 se finaliza la primera etapa (85% de avance en construcción de Sistema de Tratamiento los Tajos, en la Uruca) dando paso a la conexión al sistema de los pobladores del sector norte de San José. Este proyecto busca beneficiar a 1 070 000 habitantes para el año 2019, pertenecientes a los cantones de: San José, Desamparados, Goicochea, Alajuelita, Escazú, Vásquez de Coronado, Tibás, Moravia, Montes de Oca, Curridabat y la Unión (AyA, 2016).

De acuerdo con lo establecido en el decreto 33601-MINAE-S, todo ente generador deberá no solo dar tratamiento a las aguas residuales que genera sino confeccionar

reportes operacionales que se deben presentar periódicamente a la Dirección de Protección al Ambiente Humano del Ministerio de Salud. De acuerdo con la base de datos del Ministerio de Salud, un total de 1 946 industrias y comercios presentaron reportes operacionales durante el período 2014-2015. De estas un 54,7% vierten a cuerpos de agua superficial y tan sólo un 35,7% realizan algún tipo de reuso (Gráfico 3). En total las industrias y comercios generaron un caudal de 165 994 m<sup>3</sup>/d, de los cuales 82 807 m<sup>3</sup>/d se descargan directamente en los cuerpos receptores.



**Gráfico 5. Disposición final de las aguas residuales producidas por los entes generadores que presentaron reportes operacionales al Ministerio de Salud en el período 2014-2015.**

Fuente: Mora *et al* 2016

En materia de aguas residuales de tipo ordinario se contó con el aporte de condominios y plantas de tratamiento administradas por instituciones (AyA, ESPH y municipalidades). Para el año 2015 de los 21 sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por el AyA, 9 incumplen el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, específicamente en la determinación de DBO total; por su parte la ESPH administra 5 sistemas de tratamiento, de los cuales 4 cumplen este parámetro. Las Asadas y Municipalidades registraron 32 STARs mas no se posee información de su cumplimiento (Mora *et al*, 2016).

De acuerdo con lo indicado en la base de datos del Ministerio de Salud, solo 304 condominios presentaron reportes operacionales generando un caudal total de 20 757 m<sup>3</sup>/d. A nivel institucional se generaron reportes correspondientes a 29 plantas de tratamiento para un caudal total de 35 868 m<sup>3</sup>/d.

Según los datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, en Costa Rica se han construido un total de 1 830 plantas de tratamiento para aguas residuales ordinarias. Si se asume que el 100% de dichas plantas se encuentran en operación, el Ministerio de Salud sólo estaría recibiendo el 16% del total de los reportes operacionales. Este es un aspecto fundamental, ya que el Ministerio de Salud no cuenta con una identificación real del universo de entes que deberían estar presentando reportes operacionales, lo que atenta contra la efectividad del control y reduce el impacto final esperado de la puesta en marcha del decreto de vertido y reuso de aguas residuales.

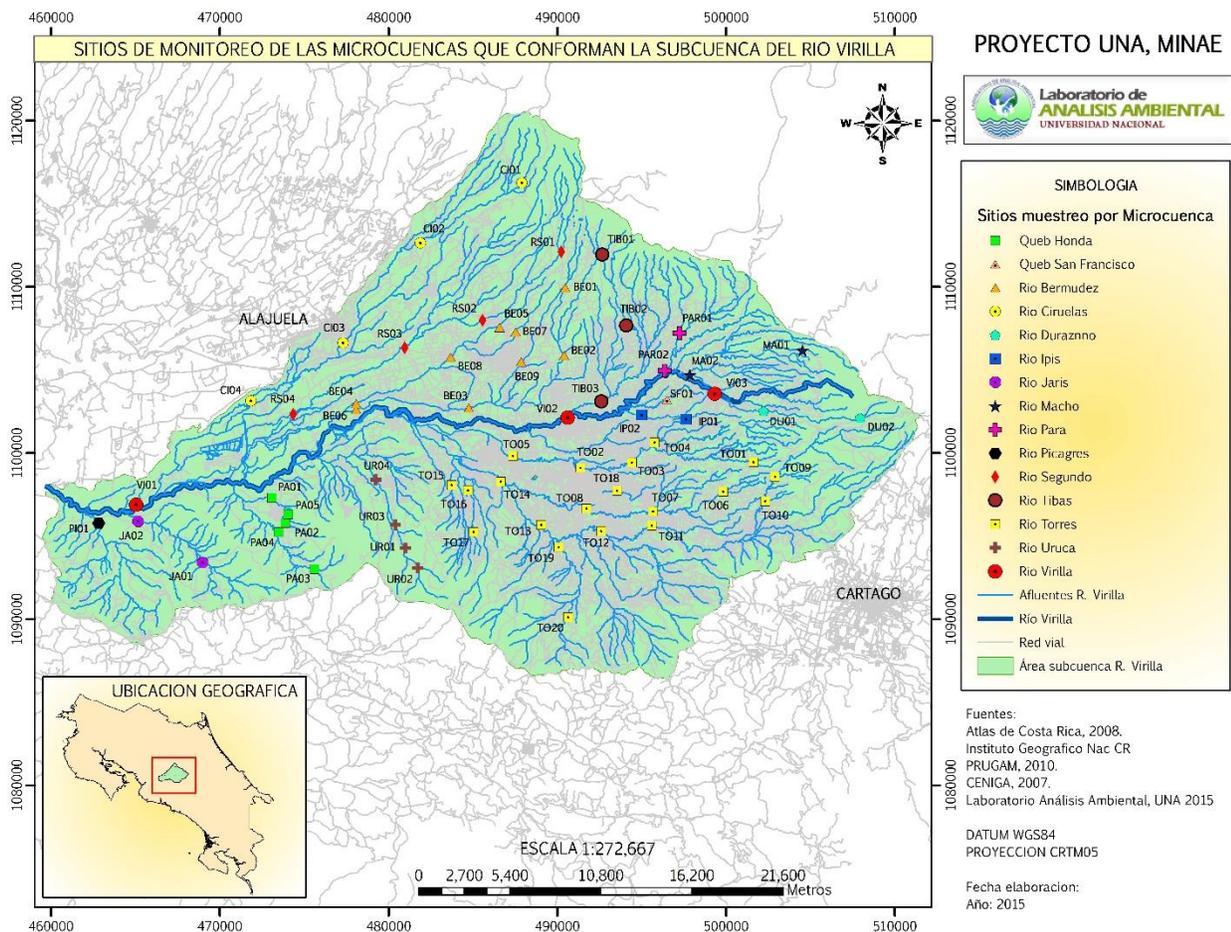
Las recomendaciones del AyA sobre los estudios realizados en el 2015, indican que la mejora de la cobertura de saneamiento, mediante el uso de alcantarillado sanitario con tratamiento depende de acelerar los procesos de construcción de sistemas de alcantarillado y tratamiento para las provincias del Gran Área Metropolitana. Además se deben implementar un Programa Nacional de Manejo adecuado de Aguas Residuales para el periodo 2016-2021, con los siguientes componentes que incluya desde la protección del recurso hídrico en sus diversas fuentes, tecnologías de tratamiento de aguas residuales, vigilancia, control, monitoreo y evaluación de sistemas de tratamiento, ya sea para sistemas de alcantarillado y drenajes o bien para la calidad del vertido, inclusión de evaluación de riesgo a Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales incluido Alcantarillado y por último legislación aplicable y proyectos de mejoramiento ambiental (Mora et al, 2016).

## **Aguas Superficiales: Avances y asuntos pendientes**

El Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional mantiene desde el año 2007 un programa continuo de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en 64 sitios distribuidos en las 17 microcuencas que conforman la subcuenca del Río Virilla (Figura 1): Ciruelas (CI), Segundo (RS), Bermúdez (BE), Tibás (TIB), Para (PAR), Paracito (PARC), Macho (MA), Durazno (DU), Quebrada San Francisco (SF), Ipís (IP), Torres (TO), Rivera (RIV), Uruca (UR), Jaris (JA), Picagres (PI), Jesús María (JM) y Pacacua (PA). A partir del análisis químico de las muestras de agua se pudo observar la presencia de porcentajes equivalentes de calcio (Ca) y magnesio (Mg) mayores en microcuencas como Pacacua y Torres (Ca: 15,5 y 23,7%, Mg: 29,3 y 32,8%, respectivamente) en comparación con las situadas en el noroeste de la subcuenca, como el caso del Río Segundo y Bermúdez (Ca: 12,2; 14,6% y Mg: 18,5; 19,3 respectivamente). Lo anterior se puede atribuir al hecho de que la zona sureste de la subcuenca del Río Virilla se caracteriza por poseer suelos vertisoles (fértils, de pH alto y elevados contenidos de Ca y Mg) mientras que en el sector noroeste prevalecen suelos andisoles (Herrera et al., 2015).

Los resultados de la caracterización química de las muestras de agua, tomadas en cada una de las microcuencas, permite realizar la clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficial comparando los datos de concentración de diversos contaminantes medidos en el campo, contra los valores límite establecidos en instrumentos legales (Cuadro 5). Las normas de calidad de los ríos y otros cuerpos de agua se definen en función de los usos potenciales de agua. El reglamento para la evaluación y clasificación de calidad del agua superficial en Costa Rica (Decreto 33903-MINAE-S) define 5 clases de agua.

**Figura 1. Distribución de los sitios de monitoreo en las diferentes microcuencas**



**que conforman la subcuenca del Río Virilla para el período 2007-2015**

En el estudio reportado, se utilizó el análisis de evaluación integral Fuzzy (FCA, por su siglas en inglés) para estimar las variables relevantes que determinan la calidad del agua basado en la transformación difusa y el principio de máximo grado de pertenencia. Para emplear este método, se partió del establecimiento de cinco clases de calidad de agua, las cuales corresponden con las indicadas en el Decreto 33903-MINAE-S: Clase 1 (sin contaminación), Clase 2 (contaminación incipiente), Clase 3 (contaminación moderada),

Clase 4 (contaminación alta), y Clase 5 (contaminación muy alta). Cada uno de los 64 sitios de monitoreo se asoció con una clase de contaminación basada en los grados de pertenencia máximos derivados del análisis Fuzzy (Cuadro 6). De acuerdo con el decreto 33903-MINAE-S y la información sobre la calidad ambiental del área de estudio, la calidad del agua de la clase 1 se considera limpia o de condición de baja contaminación (LP), la calidad del agua de clase 2 y 3 corresponde a contaminación moderada (MP), la calidad del agua de las clases 4 y 5 se considera como contaminación alta (HP). Como resultado del FCA, treinta sitios de monitoreo de la subcuenca fueron clasificados como LP; veintidós sitios como MP, y doce sitios como HP, la mayoría de ellos estaban ubicados en los ríos afluentes de las zonas urbanas de alta densidad.

**Cuadro 5.** Guías para la clasificación de los cuerpos de agua superficial de Costa Rica, Decreto 33903-MINAE-S.

| Parámetro                            | Guías Decreto 33903-MINAE-S |            |             |             |             |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|                                      | Clase I                     | Clase II   | Clase III   | Clase IV    | Clase V     |
| Turbiedad (NTU)                      | < 25                        | 25 a <100  | 100 a 300   |             |             |
| SST (mg/l)                           | < 10                        | 10 a 25    | 25 a 100    | 100 a 300   | > 300       |
| DQO (mg O <sub>2</sub> /l)           | < 20                        | 20 a <25   | 25 a <50    | 50 a <100   | 100 a 300   |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)               | < 100                       | 100 a 200  | NA          | NA          | NA          |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l) | > 150                       | 150 a 250  | >250        | >250        | >250        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)  | < 22                        | 22 a < 44  | 44 a < 66   | 66 a < 88   | > 88        |
| Mg (mg/l)                            | <8,6                        | 8,6 a 14,4 | > 14,4      | > 14,4      | > 14,4      |
| Cr (µg/l)                            | < 50                        | 50         | 200         | 500         | > 500       |
| Cu (µg/l)                            | < 500                       | 500 a 1000 | 1000 a 1500 | 1500 a 2000 | 2000 a 2500 |
| Ni (µg/l)                            | < 50                        | 50         | 100         | 200         | 300         |
| Pb (µg/l)                            | < 30                        | 30 a <50   | 50 a < 100  | 100 a <200  | 200         |

**Cuadro 6.** Resultados de la Evaluación Integral Fuzzy (FCA) y clasificación de los sitios de muestreo de contaminación

| Sitios de muestreo | Clase 1   | Clase 2   | Clase 3   | Clase 4   | Clase 5   | Sitios de muestreo | Clase 1   | Clase 2   | Clase 3    | Clase 4   | Clase 5   |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| <b>BE-01</b>       | 0,47<br>2 | 0,32<br>5 | 0,20<br>3 | 0         | 0         | <b>JA-02</b>       | 0,38<br>1 | 0,28<br>5 | 0,171      | 0,16<br>1 | 0         |
| <b>BE-02</b>       | 0,51<br>5 | 0,35<br>8 | 0,12<br>7 | 0         | 0         | <b>MA-01</b>       | 0,52<br>2 | 0,37<br>6 | 0,102      | 0         | 0         |
| <b>BE-03</b>       | 0,54<br>3 | 0,17<br>2 | 0,28<br>5 | 0         | 0         | <b>MA-02</b>       | 0,49<br>8 | 0,27<br>5 | 0,223<br>6 | 0         | 0         |
| <b>BE-04</b>       | 0,20<br>8 | 0,27<br>1 | 0,20<br>3 | 0,31<br>9 | 0         | <b>PA-01</b>       | 0,30<br>9 | 0,44<br>2 | 0,249      | 0         | 0         |
| <b>BE-05</b>       | 0,21<br>5 | 0,28<br>6 | 0,39<br>2 | 0,10<br>7 | 0         | <b>PA-02</b>       | 0,48<br>4 | 0,18<br>2 | 0,208      | 0,12<br>6 | 0         |
| <b>BE-06</b>       | 0,25<br>5 | 0,01<br>2 | 0,36<br>5 | 0,20<br>4 | 0,16<br>4 | <b>PA-03</b>       | 0,16<br>5 | 0,08<br>8 | 0,197      | 0,35<br>5 | 0,19<br>8 |
| <b>BE-07</b>       | 0,28<br>3 | 0,32<br>8 | 0,21<br>8 | 0,17<br>1 | 0         | <b>PA-04</b>       | 0         | 0,14<br>8 | 0,348      | 0,40<br>1 | 0,10<br>2 |
| <b>BE-08</b>       | 0,51<br>5 | 0,09<br>9 | 0,32<br>1 | 0,06<br>3 | 0         | <b>PA-05</b>       | 0,05<br>4 | 0,19<br>7 | 0,203      | 0,53<br>9 | 0         |
| <b>BE-09</b>       | 0,27<br>1 | 0,34<br>2 | 0,21<br>2 | 0,17<br>4 | 0         | <b>PAR-01</b>      | 0,13<br>3 | 0,07<br>6 | 0,412      | 0,38<br>3 | 0         |
| <b>CI-01</b>       | 0,98<br>3 | 0,01<br>7 | 0         | 0         | 0         | <b>PAR-02</b>      | 0         | 0         | 0,437      | 0,37<br>7 | 0,18<br>7 |
| <b>CI-02</b>       | 0,91<br>6 | 0,08<br>4 | 0         | 0         | 0         | <b>PI-01</b>       | 0,43<br>9 | 0,32<br>7 | 0,234      | 0         | 0         |

| Sitios de muestreo | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 5 | Sitios de muestreo | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 5 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>CI-03</b>       | 0,621   | 0,009   | 0,37    | 0       | 0       | <b>RS-01</b>       | 0,499   | 0,272   | 0,239   | 0       | 0       |
| <b>CI-04</b>       | 0,229   | 0,376   | 0,253   | 0,141   | 0       | <b>RS-02</b>       | 0,375   | 0,151   | 0,189   | 0,295   | 0       |
| <b>DU-01</b>       | 0,175   | 0,342   | 0,296   | 0,187   | 0       | <b>RS-03</b>       | 0,284   | 0,367   | 0,313   | 0,03    | 0       |
| <b>DU-02</b>       | 0,227   | 0,381   | 0,323   | 0,071   | 0       | <b>RS-04</b>       | 0,085   | 0,122   | 0,423   | 0,357   | 0,023   |
| <b>IP-01</b>       | 0,558   | 0,165   | 0,251   | 0,025   | 0       | <b>TIB-01</b>      | 0,452   | 0,306   | 0,232   | 0       | 0       |
| <b>IP-02</b>       | 0,575   | 0,109   | 0,077   | 0,239   | 0       | <b>TIB-02</b>      | 0,565   | 0,101   | 0,12    | 0,211   | 0       |
| <b>JA-01</b>       | 0,255   | 0,296   | 0,117   | 0,313   | 0,019   | <b>TIB-03</b>      | 0,428   | 0,327   | 0,247   | 0       | 0       |
| <b>TO-01</b>       | 0,217   | 0,361   | 0,414   | 0,01    | 0       | <b>TO-11</b>       | 0,152   | 0,288   | 0,375   | 0,181   | 0       |
| <b>TO-02</b>       | 0,258   | 0,325   | 0,258   | 0,159   | 0       | <b>TO-12</b>       | 0       | 0,121   | 0,336   | 0,414   | 0,131   |
| <b>TO-03</b>       | 0,171   | 0,359   | 0,293   | 0,175   | 0       | <b>TO-13</b>       | 0       | 0,216   | 0,345   | 0,381   | 0,061   |
| <b>TO-04</b>       | 0,616   | 0,061   | 0,323   | 0       | 0       | <b>TO-14</b>       | 0       | 0,082   | 0,353   | 0,277   | 0,284   |
| <b>TO-05</b>       | 0,175   | 0,088   | 0,649   | 0,092   | 0       | <b>TO-16</b>       | 0       | 0,067   | 0,313   | 0,415   | 0,201   |

| Sitios de muestreo | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 5 | Sitios de muestreo | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 | Clase 5 |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>TO-06</b>       | 0,205   | 0,359   | 0,32    | 0,116   | 0       | <b>TO-17</b>       | 0       | 0       | 0,271   | 0,409   | 0,321   |
| <b>TO-07</b>       | 0,152   | 0,117   | 0,226   | 0,355   | 0,151   | <b>TO-18</b>       | 0,056   | 0,182   | 0,317   | 0,279   | 0,167   |
| <b>TO-08</b>       | 0,271   | 0,291   | 0,276   | 0,161   | 0       | <b>TO-19</b>       | 0,082   | 0,109   | 0,426   | 0,27    | 0,116   |
| <b>TO-09</b>       | 0,342   | 0,201   | 0,347   | 0,11    | 0       | <b>TO-20</b>       | 0       | 0       | 0,473   | 0,306   | 0,221   |
| <b>TO-10</b>       | 0,278   | 0,277   | 0,417   | 0,03    | 0       | <b>VI-01</b>       | 0,072   | 0,107   | 0,372   | 0,448   | 0       |
| <b>UR-01</b>       | 0,261   | 0,604   | 0,135   | 0       | 0       | <b>VI-02</b>       | 0       | 0,037   | 0,471   | 0,302   | 0,19    |
| <b>UR-02</b>       | 0,472   | 0,353   | 0,121   | 0,054   | 0       | <b>VI-03</b>       | 0       | 0,296   | 0,348   | 0,227   | 0,125   |
| <b>UR-03</b>       | 0,171   | 0,324   | 0,414   | 0,091   | 0       | <b>UR-04</b>       | 0,162   | 0,221   | 0,446   | 0,177   | 0       |

Adicionalmente, se realizó una identificación de las principales fuentes que contribuyen a la calidad química de las muestras de agua, empleando un análisis de factor sobre los datos normalizados obtenidos para las tres zonas de contaminación. Los resultados del análisis de factor junto con los tipos de fuentes probables se presentan en el cuadro 7. En la zona de LP, se obtuvieron dos fuentes (varifactores) que explican el 73,7% de la varianza total (cuadro 7). La primera fuente (VF1) representa el 49,6% de la varianza total, y presenta una fuerte correlación entre  $SO_4^{2-}$ , turbiedad,  $Na^+$ ,  $K^+$  y  $Cl^-$  que relaciona los factores naturales como la litología y tipos de suelo. La segunda fuente (VF2) explicó el 24,1% de la varianza total e incluyó la DQO, DBO y SST. Este factor representa múltiples fuentes de contaminación y puede ser generado principalmente por la escorrentía urbana y aguas residuales industriales.

En la zona de MP, el VF1 explicó el 56,5% de la varianza total y presentó cargas fuertes en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y una carga débil en  $\text{K}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ . Este factor representa la contaminación difusa de origen asociado con la producción agrícola y la influencia del tipo de suelo. El VF2 explicó el 32,1% de la varianza total y tenían cargas fuertes de DBO, Sólidos Sedimentables, SST, y moderados en el fósforo total,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_2^-$ . Las correlaciones de dichos nutrientes apoya el argumento de que la eutrofización es un problema de calidad del agua en esta zona debido a la escorrentía de las aguas residuales urbanas.

**Cuadro 7.** Factores Varimax rotados para las distintas zonas de contaminación.

| Parámetros         | LP    |        | MP     |        | H P    |        |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | VF1   | VF2    | VF1    | VF2    | VF1    | VF2    |
| Ph                 | 0,067 | 0,122  | -0,120 | 0,045  | -0,147 | -0,187 |
| Turbiedad          | 0,638 | 0,296  | 0,487  | 0,791  | 0,271  | -0,164 |
| SS                 | 0,077 | -0,182 | -0,027 | 0,858  | 0,044  | 0,133  |
| SST                | 0,183 | 0,645  | 0,119  | 0,793  | 0,686  | -0,193 |
| DQO                | 0,032 | 0,793  | 0,373  | 0,821  | 0,873  | -0,146 |
| DBO                | 0,175 | 0,801  | 0,287  | 0,695  | 0,846  | 0,339  |
| $\text{Cl}^-$      | 0,824 | 0,163  | 0,912  | 0,326  | -0,023 | 0,925  |
| $\text{SO}_4^{2-}$ | 0,737 | 0,075  | 0,820  | 0,195  | 0,153  | 0,852  |
| $\text{NO}_3^-$    | 0,312 | 0,819  | 0,775  | -0,052 | -0,027 | -0,281 |
| $\text{Na}^+$      | 0,923 | 0,093  | 0,910  | 0,102  | 0,308  | 0,886  |
| $\text{K}^+$       | 0,802 | 0,121  | 0,662  | 0,092  | 0,412  | 0,907  |
| P Total            | 0,307 | 0,498  | 0,289  | 0,627  | 0,885  | 0,123  |
| $\text{NO}_2^-$    | 0,720 | 0,102  | 0,469  | 0,542  | 0,729  | 0,466  |
| $\text{NH}_4^+$    | 0,538 | 0,682  | 0,527  | 0,821  | 0,712  | 0,247  |
| OD                 | 0,083 | 0,421  | 0,108  | 0,208  | 0,125  | 0,127  |

| Parámetros           | LP    |       | MP    |       | H P   |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | VF1   | VF2   | VF1   | VF2   | VF1   | VF2   |
| % Varianza Explicada | 49,6% | 24,1% | 56,5% | 32,1% | 64,9% | 20,7% |

En la zona de HP, el VF1 explicó sobre el 64,9% de la varianza total y tenía cargas fuertes en DQO, DBO, SST, TP, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Este factor podría ser interpretado como la influencia de la contaminación de fuente puntual, como los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y efluentes industriales. El VF1 presentó una carga negativa muy fuerte para el oxígeno disuelto, lo que indica que la calidad del agua en la zona de HP ha sido seriamente degradada por la presencia de extensas condiciones anaeróbicas causadas por el agotamiento de oxígeno debido a la descomposición de material orgánico. El VF2 explicó 20,7% de la varianza total y tenían cargas fuertes en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>.

Al analizar la evolución de las contribuciones de cada fuente en el período 2006-2010 con respecto al año 2015 (Cuadro 8), se puede notar que para algunas microcuencas como Torres, Bermúdez y Segundo se mantiene una tasa de crecimiento de 10,3% en las contribuciones de origen antropogénico como las descargas de aguas residuales, tanto domésticas como industriales. En este caso, los parámetros que más contribuyeron fueron DQO, DBO, SST y de amonio cuya tasa aumenta entre un 6 a un 22% anualmente.

**Cuadro 8.** Evolución de la contribución de fuentes (%) en las microcuencas del Río Virilla, 2006-2015

| Río      | 2007     |          | 2008     |          | 2009     |          | 2015     |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | Fuente 1 | Fuente 2 |
| Bermúdez | 19,6     | 68,8     | 16,4     | 73,9     | 15,2     | 76,4     | 13,2     | 78,7     |
| Segundo  | 27,3     | 58,2     | 27,1     | 61,0     | 29,5     | 64,0     | 25,3     | 71,2     |
| Ciruelas | 35,2     | 60,3     | 32,4     | 64,7     | 30,1     | 66,8     | 33,2     | 60,2     |
| Tibás    | 32,8     | 50,3     | 35,4     | 47,2     | 37,3     | 44,2     | 38,9     | 48,1     |
| Macho    | 25,1     | 67,8     | 23,0     | 69,2     | 22,1     | 70,7     | 29,3     | 72,8     |
| Torres   | 18,4     | 73,6     | 17,0     | 75,3     | 15,0     | 78,3     | 19,6     | 80,5     |

| Río      | 2007     |          | 2008     |          | 2009     |          | 2015     |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | Fuente 1 | Fuente 2 |
| Pacacua  | 13,0     | 79,5     | 12,5     | 80,2     | 11,3     | 83,1     | 13,9     | 82,5     |
| Uruca    | 10,3     | 70,1     | 9,9      | 73,7     | 8,0      | 79,2     | 10,1     | 81,7     |
| Picagres | 23,9     | 74,8     | 15,4     | 77,1     | 11,7     | 84,3     | 12,6     | 79,6     |
| Ipis     | 19,5     | 69,3     | 16,8     | 73,8     | 14,2     | 81,6     | 15,7     | 84,8     |

El crecimiento sostenido en la contribución antropogénica a la contaminación de los cuerpos de agua superficial repercute en el aumento de la concentración de contaminantes como DQO, SST, DBO, Amonio y Turbiedad y hace pensar que a pesar del establecimiento de un modelo regulatorio de descarga de aguas residuales, la baja cobertura de sistemas de tratamiento interconectados con los alcantarillados sanitarios así como las características propias del marco regulatorio no han permitido observar una recuperación de la calidad de los cuerpos de agua superficial.

El actual modelo regulatorio de vertido de aguas residuales tiene un enfoque desde la empresa hacia el cuerpo receptor, donde se controla que el vertido posea una concentración de contaminantes menor al límite establecido sin importar la carga total de contaminante emitido (masa/unidad de tiempo) y la capacidad que el cuerpo de agua posee de asimilar los contaminantes vertidos mediante la reoxigenación.

Un estudio realizado por la Dirección de Aguas del MINAE junto con el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional determinó que la mayoría de los ríos que conforman la subcuenca del Río Virilla, presentan buenos niveles de recuperación de la oxigenación a lo largo de su trayecto. En algunos casos la mejora se da gracias a cambios en las constantes de reaireación por variaciones en la temperatura, velocidad y profundidad del agua a lo largo del trayecto del río (condiciones hidráulicas). A pesar de la presencia de fuentes puntuales y tributarios aportando materia orgánica al río, en ningún momento se llega a niveles oxigenación crítica por debajo de los 5 mg O<sub>2</sub>/L. Este es el valor recomendado por debajo del cual la mayoría de los organismos acuáticos pueden morir y se corre el riesgo de alcanzar condiciones anóxicas que pueden provocar otros problemas como la generación de malos olores. En esta tendencia se observan dos claras excepciones con los ríos Torres y Bermúdez, donde se llegan a obtener concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de los 5 mg O<sub>2</sub>/L. En cuanto a la capacidad de autodepuración, la del Río Bermúdez (que atraviesa varios cantones de Heredia) se ve más afectada en la parte baja donde las cargas de contaminantes

probablemente son más altas y seguidas. Para el Torres la caída en los niveles de oxígeno es más sostenida desde la parte alta hasta la baja, lo que deteriora su capacidad de autodepuración. Esta microcuenca está mayormente afectada en todo su cauce por la contaminación proveniente de centros poblacionales en sus alrededores. Para los casos del Río Ciruelas y Río Segundo, a pesar de presentar una contaminación incipiente-moderada, los descensos en los niveles de oxígeno no alcanzan niveles críticos y logran recuperarse.

Dado lo anterior se hace urge migrar de un modelo legal que regula por concentración a uno que lo haga por carga contaminante y que tome en cuenta la capacidad de autodepuración de los cuerpos receptores, si se quiere obtener una recuperación sostenida en la calidad de las aguas superficiales del país.

En el estudio mencionado anteriormente, se realizó el ejercicio de analizar el posible impacto que tendría el cambio climático sobre la capacidad de autodepuración de los ríos, aplicando el efecto de la temperatura ambiente y precipitación sobre las variables más críticas del modelo de autodepuración, tomando como base los escenarios del IMN para el período 2071-2100. Se realizaron proyecciones tomando en cuenta los siguientes supuestos:

- Se mantienen las mismas cargas de contaminantes de las fuentes puntuales reconocidas (tanto en concentración como caudal de vertido).
- No se da un aumento significativo en el número de fuentes puntuales y permisos de aprovechamiento del agua en las microcuencas seleccionadas.
- No se dan cambios importantes en el uso del suelo en los alrededores de las microcuencas.
- La morfología del río se mantiene constante y tampoco hay variaciones en las pendientes.
- Se utilizan las mismas condiciones iniciales de frontera.
- La evaluación se hace utilizando el mismo número de segmentos o tramos en el modelo.

En el cuadro 9 se pueden apreciar los resultados obtenidos de las proyecciones, para las microcuencas más críticas, sobre la capacidad de autodepuración de cada uno.

**Cuadro 9. Efecto proyectado del cambio climático sobre la capacidad de autodepuración de los cauces principales, para el periodo 2071-2100.**

| Microcuenca (cauce principal) | Cambio en la capacidad de autodepuración (%) |
|-------------------------------|--|
| Torres                        | -7   |

---

|                |    |
|----------------|----|
| Bermúdez       | -6 |
| Ciruelas       | -5 |
| Quebrada Honda | -3 |
| Uruca          | -4 |
| Río Segundo    | -4 |

Tal como se puede observar a futuro los cambios en la temperatura y precipitación, generados por el cambio climático, van a comprometer aún más la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua superficiales de la subcuenca del Río Virilla, razón por lo cual se hace de primera necesidad el replanteamiento del modelo regulatorio para la descarga de vertidos a los cuerpos de agua superficial. Es importante recordar que muchos de los posibles usos de las aguas superficiales se ven comprometidos por su mala calidad, lo cual genera una competencia de las actividades agrícolas e industriales por el acceso a las aguas subterráneas con el abastecimiento a las poblaciones.

## **Bibliografía**

AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 2015. Memoria Institucional 2014-2015. San José, CR. 80p.

AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 2016. Revista Hidrogénesis. San José, CR. 112p.

Centro de estudios de desarrollo rural. 2015c. Informe final sobre el Censo a las ASADAS de la región Chorotega y Huetar Norte. San José, CR. 30p.

Angulo, F. 2014. Gestión del Recurso Hídrico y Saneamiento en Costa Rica. Estado de la Nación. San José, CR. 47p.

Aresep. 2016. Agua mantiene calidad pero alcantarillado deficiente (en línea). Consultado el 20 may, 2016. Disponible en: <http://Aresep.go.cr/usuarios/noticias/1785-agua-mantiene-calidad-pero-alcantarillado-es-deficiente>.

Herrera, J., Rojas, J.F., Chaves, M., Chinchilla, J.A. 2015. Informe de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Virilla. 65 pp.

MINAE (Ministerio Nacional de Ambiente y Energía, CR). 2014. El Recurso Hídrico en Guanacaste. San José, CR. Dirección de Aguas. 10p.

MINAE (Ministerio Nacional de Ambiente y Energía, CR). 2009. Política Hídrica Nacional. San José, CR. 46p.

MINSAL (Ministerio de Salud, CR). 2015. Decreto No.38924-S: Reglamento para la calidad de agua potable. San José, CR.

MINSAL (Ministerio de Salud, CR). 2005. Decreto No.32327-S: Reglamento para la calidad de agua potable. San José, CR.

Mora, D; Mata, A; Portuguez, F. 2016. Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en costa rica: objetivos de desarrollo del milenio y la agenda para el 2030. San José, CR. 37p.

Rojas, P. 2015. Problemática del arsénico en fuentes de aguas guanacastecas 'está resuelto' en un 99% (en línea). Consultado el 16 may, 2016. Disponible en: <http://www.crhoy.com/problematika-del-arsenico-en-fuentes-de-aguas-guanacastecas-esta-resuelto-en-un-99-dice-aya/>

Sánchez, R. y Birkel, C. 2016. Trazadores ambientales como herramientas para la seguridad y sostenibilidad hídrica nacional. Escuela de Química. Universidad Nacional. 4 p.

Sandí, A; Marin, H; Cordero, M; Molina, L. 2015. Atención Pecuaria por sequía en la Región Chorotega y Pacífico Central. Servicio Nacional de Seguridad Animal. 25p.

SENARA. 2015. Monitoreo de acuíferos Huacas-Potrero y Tamarindo-Caimital.