



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Programa Hidrológico Internacional
International Hydrological Programme

Aqua-LAC

ISSN 1688-2873

1

VOL. 5
MAR. 2013



Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe

Journal of the International Hydrological Programme for Latin America and Caribbean

Publicado en el 2013 por el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Published in 2013 by the International Hydrological Programme (IHP) of the Regional Bureau for Science for Latin America and the Caribbean of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Dr. Luis P. Piera 1992, 2º piso, 11200 Montevideo, Uruguay.

ISSN 1688-2873

© UNESCO 2013

Foto de portada: © Gabriel Soumis-Dugas, UNESCO.

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figura no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, no en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO.

The designations employed and presentation of materials throughout the publications do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, territory, city or of its authorities or concerning the delimitations of its frontiers or boundaries.

Programa Hidrológico Internacional
para América Latina y el Caribe (PHI-LAC)
Oficina Regional de Ciencia para América
Latina y el Caribe
UNESCO
Dr. Luis P. Piera 1992, 2º piso
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: + 598 2 413 20 75
Fax: + 598 2 413 20 94
E-mail: aqualac@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi/aqualac>

CONSEJO EDITORIAL

- Eric Alfaro - Clima
Universidad de Costa Rica, Costa Rica
- Patricia Avila - Ciencias Sociales / Antropología Social
Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Walter Baethgen - Agua y Agricultura
International Research Institute
for Climate and Society, USA
- Gino Cassasa - Glaciología
Centro de Estudios Científicos, Chile
- Henrique Chaves - Erosión / Sedimentos
Universidade de Brasília, Brasil
- José Rafael Cordova - Ingeniería Hidráulica
Universidad Simón Bolívar, Venezuela
- Evens Emmanuel - Calidad de Aguas
University of Quisqueya, Haiti
- Michael Glantz - Riesgos/ Adaptación
National Center for Atmospheric Research, USA
- Alfonso Gutierrez - Hidrología de Superficie
Universidad Autónoma de Querétaro, México
- Blanca Jiménez - Aguas Urbanas
Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Lilián Laborde - Legislación
Universidad de Buenos Aires, Argentina
- Michael McClain - Ecohidrología
UNESCO - IHE Water Institute, Holanda
- Miguel Mariño - Aguas Subterráneas
University of California Davis, USA
- Poliopetro Martínez - Ingeniería Hidráulica
Universidad de Puebla, México
- Victor Pochat - Gestión Integrada
Instituto Argentino de Recursos Hídricos, Argentina
- Vincent Sweeney - Recursos Hídricos en SIDS
Integrating Watersheds and Coastal
Area Management in SIDS, Saint Lucia
- STAFF EDITORIAL / EDITORIAL STAFF**
- Editor en Jefe / Editor in Chief**
Roberto Pizarro
- Editora Ejecutiva / Executive Editor**
Zelmira May
UNESCO
- Coordinador de Edición / Editorial Coordinator**
Gabriel Soumis-Dugas
UNESCO
- Diseño Gráfico / Graphic Design**
Ser Graficos
- Diseño de Portada / Cover Design**
Gabriel Soumis Dugas
UNESCO

CONTENIDO / CONTENTS

- Gestión del agua para consumo humano de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) de Buenos Aires y de Suerre, área de conservación Tortuguero, Costa Rica
María Fernanda González Pérez y Francisco Jiménez
Water management for human consumption by the Administrative Associations of Rural Aqueducts and Sewerage Systems (ASADAS), Buenos Aires and Suerre, Tortuguero conservation area, Costa Rica 1
- Sedimentación, pérdida de capacidad y calidad del agua en el embalse San Miguel, provincia Mayabeque
Orlando R. Laiz Averhoff y Ernesto Flores Valdés
Sedimentation, capacity loss and water quality in San Miguel reservoir, Mayabeque province..... 22
- A rapid assessment tool for integrated watershed management: a case study from la Plata river basin in South America.
Karim Musálem-Castillejos, Francisco Jiménez-Otárola y Morag McDonald.
Aplicación de una herramienta rápida de evaluación del manejo integrado de cuencas: estudio de caso desde la Cuenca del Plata en Sur América..... 27
- Sistema de gobernanza local del recurso hídrico para uso doméstico en el área de influencia de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS) de Buenos Aires y de Suerre, área de conservación Tortuguero, Costa Rica
María Fernanda González Pérez y Francisco Jiménez
Local water governance system for domestic use in the greater Administrative Associations of Rural Aqueducts and Sewerage Systems (ASADAS) area of Buenos Aires and Suerre, Tortuguero conservatio area, Costa Rica 36
- Los primeros diques de Córdoba, Argentina: los tajamares jesuitas
Santiago Reyna, Teresa Reyna y María Lábaque
The oldest dams of Córdoba, Argentina: the jesuits' "tajamares" 60
- Caracterización del régimen de caudal natural para la asignación del agua en la cuenca del río Verde, Oaxaca, México.
Sergio Rodríguez Torres y María Antonieta Gómez Balandra
Natural flow regime for water allocation in the río Verde basin in Oaxaca state, Mexico..... 70
- Enfoque integrado de los estudios de peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas
Eduardo O. Planos Gutiérrez
Integrated approach to studies of hazard for large rainfall and intense precipitation..... 84
- Ciudades cuenca: lo político en la reconfiguración hidrológica mexicana (los casos de la ciudad de México, San Luis Potosí, León, Guadalajara y Monterrey)
Jaime Peña Ramírez
Cities-basin: the politician in mexican hydrological reconfiguration (the cases of the cities of Monterrey, Guadalajara, Leon, San Luis Potosí and Mexico city)..... 93

CONSEJO DIRECTIVO / BOARD OF DIRECTORS

LUCILA CANDELA

Universidad de Cataluña-UPC, Barcelona, España
Technical University of Catalonia-UPC, Barcelona, Spain

MARÍA CONCEPCIÓN DONOSO

Agua Global para la Sostenibilidad (GLOWS),
Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)
Global Water for Sustainability (GLOWS)
United States Agency for International Development (USAID)

VIRGINIA GARCÍA ACOSTA

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), México
Center of Research and Higher in Studies of Social Anthropology (CIESAS), Mexico

EDUARDO PLANOS

Instituto de Meteorología, Cuba
Meteorological Institute, Cuba

ALFONSO GUTIÉRREZ

Iniciativa Internacional sobre Inundaciones (IFI)
Centro de Investigaciones del Agua (CIAQ)
Universidad Autónoma de Querétaro, México
International Flood Initiative (IFI)
Centro de Investigaciones del Agua (CIAQ - Water Research Center)
University of Queretaro, México

JUAN CARLOS BERTONI

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
National University of Córdoba, Argentina

EVENS EMMANUEL

Université Quisqueya, Haití
University of Quisqueya, Haití

WILL LOGAN

Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ICIWarm), USA
International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWarm), USA

SUSCRIPCIONES

Si desea recibir la revista Aqua – LAC en forma
periódica en formato digital descargue el formulario
de suscripción de nuestro sitio web:

www.unesco.org/uy/phi/aqualac
y envíelo a
aqualac@unesco.org.uy

SUSCRIPTIONS

If you would like to periodically receive Aqua – LAC
journal in digital format download the suscription
form from our website:

www.unesco.org/uy/phi/aqualac
and send it to
aqualac@unesco.org.uy

EDITORIAL

El agua dulce es vital para la salud y la seguridad, y es por lo tanto crucial para el desarrollo humano sostenible. Es, por otra parte el denominador común de la mayoría de los problemas que ocurren frecuentemente.

Este año, las Naciones Unidas conmemoran el Año Internacional de Cooperación en la Esfera del Agua bajo el liderazgo de la UNESCO. Esto constituye una oportunidad para concientizar respecto a las posibilidades de una mayor cooperación y los desafíos que enfrenta la gestión del agua. La cooperación entre los grupos sociales y culturales, los sectores económicos, los gobiernos y los países es esencial para lograr un equilibrio entre las distintas necesidades y prioridades, garantizar una gestión racional del agua y lograr su uso sustentable y equitativo. Este año tendrá por objeto destacar las iniciativas exitosas de cooperación de agua, así como identificar las cuestiones candentes sobre la educación relativa al agua, la diplomacia del agua, la gestión de las aguas transfronterizas, el financiamiento de la cooperación, marcos jurídicos nacionales e internacionales y los vínculos con los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Además, también será una oportunidad para aprovechar el impulso generado luego de la Conferencia de Río +20, y para apoyar la formulación de nuevos objetivos que contribuyan a generar recursos hídricos que sean verdaderamente sostenibles.

Como parte de la agenda de desarrollo post-2015, la UNESCO puede liderar el camino en el desarrollo de planes nacionales y regionales de forma de conseguir adaptación comunitaria para la seguridad del agua mediante el fomento de la innovación y los aportes de la ciencia. Dado que la seguridad del agua depende en gran medida de políticas adecuadas basadas en conocimientos científicos sólidos, el rol de UNESCO en el logro de la seguridad del agua podría llegar a ser de suma importancia en el asesoramiento a sus Estados miembros.

Por esta razón, la seguridad del agua es esencial para el desarrollo sostenible y vital para la construcción de sociedades pacíficas. Para que la cooperación sea exitosa y sostenible, es necesario un entendimiento común de las necesidades y retos relacionados a los temas de agua considerando qué procesos pueden funcionar mejor en un entorno socio-económico y físico. Ciertamente compartir los recursos hídricos implica compartir responsabilidades. Entonces, todos deberíamos entender la importancia de estos recursos con el fin de tener un futuro mejor, ya que la cooperación es la clave de la preservación de los recursos hídricos, la protección del medio ambiente y el mantenimiento de relaciones pacíficas dentro y entre las comunidades.

EDITORIAL

Freshwater is vital for human health and security and is therefore crucial for sustainable human development. Moreover, it is the common denominator for most of the frequent recurring problems.

During this year, the United Nations will be commemorating the International Year of Water Cooperation under the leadership of UNESCO. This constitutes an opportunity for raising awareness of both the potential for increased cooperation and the challenges facing water management. Cooperation between social and cultural groups, economic sectors, governments, and countries is essential to strike a balance between different needs and priorities, to ensure sound water management and achieve its sustainable and equitable use. The Year will aim at highlighting the history of successful water cooperation initiatives, as well as identify burning issues on water education, water diplomacy, transboundary water management, financing cooperation, national/international legal frameworks, and the linkages with the Millennium Development Goals. Furthermore, it will also provide an opportunity to capitalize on the momentum created by the Rio+20 Conference, and to support the formulation of new objectives that will contribute towards water resources that are truly sustainable.

As part of post-2015 development agenda, UNESCO can lead the way in developing national and regional plans to achieve community resilience for water security by fostering innovation and the contributions of the sciences. Since water security depends largely on adequate policies based on sound scientific knowledge, the role of UNESCO in achieving water security might become of utmost relevance by providing advice to its member states.

For this reason, water security is essential for sustainable development and vital for building peaceful societies. Thus, in order to be successful and sustainable, this cooperation requires a common understanding of the needs and challenges in relation to water subjects comprising which processes may work better in a socio-economic and physical environment. Certainly, sharing water resources means sharing responsibilities. Then, we all should understand the importance of these resources in order to have a better future as cooperation is the key to the preservation of water resources, protecting the environment and maintaining peaceful relations within and between communities.

POLÍTICA EDITORIAL

Frecuencia de publicación

La Revista Aqua-LAC será publicada cada seis meses o dos veces al año.

Contenido

La revista Aqua-LAC es una publicación multidisciplinaria que contiene artículos, notas técnicas y reseñas en el campo de los recursos hídricos, tanto en su dimensión científica como en su dimensión económica y social. El contenido de la publicación buscará abarcar las necesidades de la comunidad científica, gestores de los recursos hídricos, tomadores de decisiones y el público en general.

Idioma

La publicación Aqua-LAC aceptará manuscritos en inglés y español, y publicará el resumen en el idioma original del texto y un resumen en el otro idioma oficial de la revista.

Aceptación de los manuscritos

Los manuscritos sometidos para publicación deberán ser originales, no habiéndose sometido con anterioridad para su publicación en otros medios, y serán sometidos a un proceso de revisión y dictamen previos a su aceptación. Artículos invitados, o artículos en ediciones temáticas especiales, no necesariamente serán sometidos a revisión.

El Editor en Jefe, en consulta con el Consejo Directivo, se reserva el derecho de rechazar un manuscrito si se considera que su contenido en fondo y/o forma no se ajusta a la línea editorial de la revista Aqua-LAC.

Proceso de revisión

Todos los manuscritos sometidos a publicación serán revisados por al menos dos revisores calificados, no necesariamente miembros del Comité Editorial. Un manuscrito puede ser aceptado, aceptado con condiciones, o rechazado con la debida justificación en todos los casos. En el caso de que haya comentarios, el manuscrito será devuelto al (a los) autor(es) para que respondan a los mismos. El (Los) autor(es) tendrán 60 días para devolver el manuscrito modificado al Editor en Jefe, claramente indicando los cambios realizados o enviando una declaración escrita solidamente fundamentada del motivo por el cual no han acogido los comentarios de los revisores.

Derechos de reproducción (Copyrights)

Los autores de artículos aceptados para ser publicados, aceptarán de manera automática que los derechos de autor se transferirán a la revista.

Responsabilidad

Debido a la naturaleza intergubernamental de la UNESCO, la Organización se reserva los derechos de notificar en todas las publicaciones de Aqua-LAC que *“Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización”*.

EDITORIAL POLICY

Frequency of publication

The journal Aqua-LAC will be published every six months or twice a year.

Contents

The journal Aqua-LAC contains scientific, policy-related, legislative, educational, social, and communication articles and revisions related to water sciences and water resources topics. The content of the journal is aimed to meet the requirement of the scientific community, water resources managers, decision-makers, and the public in general.

Languages

The journal Aqua-LAC accepts manuscripts in English or Spanish and publishes abstracts in both languages.

Acceptance of manuscripts

Manuscripts submitted for publication must be originals that have not been submitted for possible publication elsewhere. Submitted manuscripts will be undergoing a review process. Invited articles or articles in special topical editions, will not necessarily be submitted to review.

The Editor in Chief, in consultation with the Board of Directors, reserves the right to reject a manuscript if its contents is deemed substantially or formally inconsistent with the editorial line of AQUA-LAC magazine

Review process

All manuscripts submitted for publication will be reviewed by at least two qualified reviewers, not necessarily members of the Editorial Committee. A manuscript can be accepted with or without comments or it can be rejected with due justification. In the first case, the manuscript will be returned to the author(s) for him/her/them to address the comments. The author(s) will have 60 days to return the modified manuscript to the Editor in Chief, clearly indicating the changes made or providing a written statement with solid fundamentals for not addressing comments by the reviewers.

Copyrights

The authors of accepted papers automatically agree the author rights to be transferred to the Journal. The author(s) are expected to sign a copyright form available in the Aqua-LAC webpage.

Disclaimer

Due to the intergovernmental nature of UNESCO, the organization reserves the right to state in all Aqua-LAC publications that *“The designations employed and the presentation of material throughout the journal do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO concerning the legal status of any country, territory, city or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The authors are responsible for the facts and opinions expressed therein, which are not necessarily those of UNESCO and do not commit the Organization”*.

GESTIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LAS ASOCIACIONES ADMINISTRADORAS DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (ASADAS) DE BUENOS AIRES Y DE SUERRE, ÁREA DE CONSERVACIÓN TORTUGUERO, COSTA RICA

WATER MANAGEMENT FOR HUMAN CONSUMPTION BY THE ADMINISTRATIVE ASSOCIATIONS OF RURAL AQUEDUCTS AND SEWERAGE SYSTEMS (ASADAS), BUENOS AIRES AND SUERRE, TORTUGUERO CONSERVATION AREA, COSTA RICA

María Fernanda González Pérez* y Francisco Jiménez*

Resumen

En Costa Rica, las ASADAS son organizaciones locales, sin fines de lucro, legalmente establecidas, que tienen como propósito proveer de agua para consumo humano a comunidades rurales; pese a su importancia, algunas carecen de gestión administrativa, financiera y operativa eficiente. Esta investigación analiza dos estudios de caso de ASADAS, con base en: a) análisis FODA; b) gestión financiera; c) vulnerabilidad del sistema hídrico; d) eficiencia operativa en la conducción del agua en el sistema; e) calidad del agua; f) percepción y participación de los usuarios en el funcionamiento de la ASADA; y g) estrategias para mejorar su funcionamiento.

La ASADA de Buenos Aires presenta una gestión administrativa fortalecida, aunque con déficits financieros y de infraestructura, el agua no es potable, el acueducto presenta varios componentes con alta vulnerabilidad, el grado de satisfacción de los usuarios es medio, pero su participación es baja. La ASADA de Suerre presenta una gestión administrativa fortalecida, con buena situación financiera y buena infraestructura para el abastecimiento de agua; el agua clasifica como apta (potable) para consumo humano, la vulnerabilidad del acueducto es baja, existe un alto grado de satisfacción de los usuarios, aunque su participación es baja. Se plantean estrategias para la solución de los problemas identificados. Palabras clave: vulnerabilidad, eficiencia operativa, calidad del agua y participación.

Abstract

The Administrative Associations of Rural Aqueducts and Sewerage Systems (ASADAS) in Costa Rica are local non-profit organizations, which are legally established to supply water for human consumption to rural communities. Despite their importance, some of them lack efficient administrative, financial and operational management. This research analyses two case studies of ASADAS based on: a) FODA analysis; b) financial management; c) water system vulnerability; d) operational efficiency in conducting water in the system; e) water quality; and f) user's perception and participation in the operation of the ASADA.

The ASADA in Buenos Aires shows a strong administrative management; yet it has financial and infrastructural deficits. The water is not potable, and the aqueduct has some components of high vulnerability. The degree of user's satisfaction is medium and their participation is low. The ASADA in Suerre shows a strong administrative management with a good financial situation, and good infrastructure for water supply. The water is suitable for human consumption, the vulnerability of the aqueduct is low, and there is a high degree of user satisfaction, although their participation is low. The study proposes strategies to solve the problems identified here.

Keywords: vulnerability, operational efficiency, water quality, perception and participation.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, varios estudios han documentado casos donde los pobladores locales, como partes interesadas directas, se han organizado y trabajado en equipo mediante comités de agua u otras figuras de gestión administrativa para brindar un servicio de abastecimiento de agua para consumo humano y uso doméstico, de manera autónoma, a través de diversas fuentes de este recurso (McCabe *et al.*

1970; Narayan 1995; García y Thomas 2003; Sutton 2004; Carter 2006; García 2006; Carter 2010; Danert y Sutton 2010; Jones 2011; RWSN 20012). Pero no basta con brindar este servicio, sino que se requiere hacerlo de manera eficiente y sostenible; además, este tiene que ser accesible para todos los pobladores (RWSN 2012).

En Costa Rica, las ASADAS representan una transferencia de poder por parte del Estado a las comuni-

* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Teléfono: (506) 85635155, mgonzalezp@catie.ac.cr

dades y son un ejemplo de gestión local del recurso hídrico (RH) descentralizado, cuyo propósito principal es promover el acceso al servicio de agua y mejorar de la calidad de vida de la población (Castro *et al.* 2004; Lockwood 2004; Arauz 2011; Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011). Para el año 2009 habían registradas 1196 ASADAS que proveen de agua a más de 2000 comunidades rurales y periurbanas (27% de la población costarricense) bajo un enfoque administrativo y operativo sin fines de lucro (Arauz 2011). Las ASADAS son reguladas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), que es el ente estatal rector de este servicio.

Estas asociaciones han surgido por iniciativa y autogestión de las comunidades y/o por impulso inicial (asesoría técnica y entrega de recursos) del AyA (Castro *et al.* 2004). Las tarifas por el servicio que brindan son regidas por la ARESEP¹ (Resolución No. RRG-9536, Incremento para las tarifas de ASADAS, 2009) y una parte de estas es destinada a la instalación y el mantenimiento de hidrantes (Ley No. 8641, Declaratorio del Servicio de Hidrante, 2008).

La participación es un factor primordial en la gestión del RH (Narayan 1995; Syme *et al.* 1999; Ballesteros 2008; Minaverri 2008; Arduino *et al.* 2012); los dirigentes que conforman la junta directiva de estas asociaciones, son elegidos democráticamente por la comunidad, cada dos años (Castro *et al.* 2004; Marín 2011). Factores como liderazgo, composición de género, relación con otras organizaciones y experiencia acumulada de la junta directiva son cruciales para un buen desempeño (CWWA *et al.* 2003; Castro *et al.* 2004; Carter 2006; Madrigal y Alpízar 2011; RWSN 2012). Para fortalecer el proceso de participación, el empoderamiento, la toma de decisiones conjunta y mejorar el servicio, las ASADAS realizan periódicamente asambleas comunitarias (Castro *et al.* 2004; Marín 2011).

Sin bien las ASADAS son una apuesta a la descentralización, al igual que otros casos mundiales (Carter 2006; RSWN 2011; RWSN 2012), muchas presentan varias limitaciones y retos:

- Incremento acelerado de la demanda de agua (Castro *et al.* 2004; Astorga 2008; Madrigal y Alpízar 2011).
- Baja participación de los actores en su gestión (Madrigal y Alpízar 2011).
- Solo el 59,8% de la población que abastecen las ASADAS recibe agua potable (Barquero 2009).
- El AyA no les brinda toda la asesoría técnica que estas asociaciones requieren (AyA y OPS 2002; Castro *et al.* 2004; Lockwood 2004; Arauz 2011).

- Dependen del AyA, organismo con el que tienen que cumplir con requisitos estrictos para su legitimidad operativa, lo que conlleva a una organizaciones y afecta la autogestión local (Castro *et al.* 2004).
- Bajos ingresos o administración deficiente de los mismos, lo que ocasiona déficits en sus presupuestos (AyA y OPS 2002; Lockwood 2004; Madrigal y Alpízar 2011).
- La infraestructura de muchos acueductos no está en condiciones óptimas (AyA y OPS 2002; Lockwood 2004; Madrigal y Alpízar 2011).
- Amenaza a las zonas de recarga hídrica por incumplimiento de la normativa ambiental y de regulación de uso del suelo (Castro *et al.* 2004; Madrigal y Alpízar 2011).

El Área de Conservación Tortuguero (ACTo), ubicado en la región Atlántica de Costa Rica, tiene un total de 27 manantiales con aprovechamiento del RH, 18 de ellos están a cargo de las ASADAS, lo que evidencia el papel protagónico de estas asociaciones en la gestión del agua a nivel local.

En el cantón Pococí y su cabecera (Guápiles) funcionan cinco ASADAS. Según Birkel *et al.* (2006), todas utilizan el agua proveniente de manantiales que afloran de los acuíferos de Guácimo y Pococí. En Pococí, el crecimiento demográfico es uno de los principales factores causantes del aumento en la demanda de agua, no solo para uso doméstico, sino también para llenado de piscinas recreativas y uso comercial (lavado de carros, lavanderías, talleres, etc.). Un estudio sobre el RH en el ACTo, realizado por el Ministerio del Ambiente y Telecomunicaciones (MINAET), recomendó fortalecer las ASADAS de la zona, como estrategia para gestionar sosteniblemente dicho recurso en la misma (Birkel *et al.* 2006).

Con base en el rol protagónico que tienen las ASADAS en Costa Rica y la importancia socioambiental del área de estudio: abundancia de RH, presencia de los acuíferos de Guácimo y Pococí que abastecen de agua a ambos cantones, alta vulnerabilidad a contaminación del agua subterránea, presencia de varios actores que tienen relación directa en la gestión de las ASADAS y alto crecimiento poblacional (INEC 2002a; Birkel *et al.* 2006; Fallas 2006; PRODUS 2006; SINAC 2007), esta investigación analiza el sistema de gobernanza hídrica para uso doméstico en el área de influencia de las ASADAS de Buenos Aires y de Suerre ubicadas dentro del ACTo.

METODOLOGÍA

El presente estudio analiza la gestión del agua para consumo humano de las ASADAS de las comunidades de Buenos Aires y de Suerre ubicadas en el distrito de Jiménez, cantón Pococí, en la provincia de Limón, Costa Rica. Tanto la comunidad de Buenos

¹ ARESEP: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

Aires como la de Suerre se encuentran localizadas dentro del ACTo, la cual contiene a los acuíferos de Guácimo y Pococí que proveen de agua a ambos cantones y que están protegidos por la zona protectora (ZP) que lleva sus nombres (Figura 1) (Decreto No. 17390, Creación de la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí, 1986).

Los objetivos específicos de la investigación fueron establecer: a) las características generales de ambas ASADAS (incluyendo su gestión financiera, y sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas); b) la vulnerabilidad de sus sistemas hídricos (acueductos); c) la eficiencia operativa en la conducción del agua; d) la calidad del agua; e) la percepción y participación de sus usuarios; y f) las estrategias viables para mejorar su gestión.

Para establecer las características de cada ASADA se realizaron entrevistas a informantes claves de ambas asociaciones y a representantes de los siguientes actores que tienen relación con su gestión: el AyA, el LNA², la Dirección de Agua, el MINSALUD³, la ARESEP, el ICE⁴, la ASIREA⁵, la ADIBA⁶, la Fundación Pococí Limpio, la Universidad la Earth y el ACTo.

Sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas se identificaron con grupos focales de ambas asociaciones con un análisis FODA (Kauffman 2009). Los resultados de este análisis fueron incluidos en este documento según los temas desarrollados.

Para analizar la gestión financiera se realizaron entrevistas a informantes claves de ambas asociaciones y se analizó el proceso de rendición de cuentas de ambas asociaciones. Se compiló la información relacionada con la rentabilidad (informes económicos del 2009 al 2011 para Suerre y del 2009 al 2012 para Buenos Aires). En el caso de la ASADA de Buenos Aires se utilizó la información de cuatro años, ya que su gestión financiera ha sufrido cambios radicales en el 2009 y el 2012 (para este último año, con ayuda del contador de la asociación, se proyectaron los principales rubros hacia diciembre 2012 con los datos reales obtenidos hasta mayo del mismo año). Con esta información se aplicaron indicadores económicos de rentabilidad a largo plazo (VAN⁷ y TIR⁸) y a corto plazo (razón B/C⁹, ROE¹⁰ y ROA¹¹) y de razo-

nes de apalancamiento (razón de endeudamiento y de autonomía). Para su cálculo se utilizó el software Microsoft Excel 2010, según la metodología de Bravo (2003), Sánchez (2010) y Guzmán (2011).

La vulnerabilidad de sus sistemas hídricos fue establecida según la metodología de Mendoza (2008), la cual se basa en la aplicación de indicadores para cada uno de los componentes que integran dichos sistemas. Para cada ASADA, se calculó la vulnerabilidad de todo el sistema y de cada uno de sus componentes. Los indicadores fueron aplicados con visitas a las estructuras a sus acueductos y con la ayuda del personal de ambas ASADAS. La metodología aplicada permitió analizar la vulnerabilidad bajo dos escenarios: a) dando el mismo peso relativo a todos los componentes y b) otorgando un peso relativo a cada componente dentro del sistema ya que, según Mendoza (2008), no todos los componentes tienen la misma importancia en el sistema hídrico.

La calidad del agua fue evaluada mediante la revisión de los análisis existentes físico-químicos y bacteriológicos del agua que suministran; los análisis fueron proporcionados por el LNA para ambas ASADAS y también, para el caso de Suerre, por un laboratorio particular. Después, se comprobó si la calidad del agua cumple las normas del Ministerio de Salud (Decreto No. 32327-S, Reglamento para la calidad del agua potable, 2005).

La eficacia operativa en la conducción del agua en el sistema (determinada solo en la ASADA de Suerre, ya que Buenos Aires no presenta un real tanque de almacenamiento) fue calculada según la metodología de Sandoval (2010). Para el cálculo del caudal del agua se empleó un velocímetro marca Rickly Hidrological, modelo USGS Pygmy No. 6205.

Entrevistas semiestructuradas fueron aplicadas a los usuarios de ambas ASADAS para establecer su percepción y su participación respecto a la gestión de sus asociaciones. Para la selección del tamaño de muestra se utilizó un nivel de confianza del 95%. En Suerre (N: 600 usuarios) se realizaron 234 entrevistas, una cada tres casas. En Buenos Aires (N: 200 usuarios) se realizaron 132 entrevistas, una cada dos casas. En el caso de la participación se ubicó a cada ASADA en la escalera de participación de Geilfus (Geilfus 2005). Las entrevistas mencionadas también sirvieron para complementar la información sobre calidad de agua, presencia de enfermedades relacionadas con su consumo, asambleas comunitarias y manejo de fondos de las asociaciones.

Todas las metodologías planteadas fueron complementadas con observación participante (Geilfus 2005) y con asistencia a reuniones de junta directiva de las asociaciones (enero - abril 2012). Con toda la información recopilada y con retroalimentación de las ASADAS (personal, juntas directivas y usuarios) se establecieron estrategias para mejorar su gestión.

² LNA: Laboratorio Nacional de Aguas.

³ MINSALUD: Ministerio de Salud.

⁴ ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

⁵ ASIREA: Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica.

⁶ ADIBA: Asociación de Desarrollo Integral de Buenos Aires.

⁷ VAN: valor neto actual.

⁸ TIR: tasa interna de retorno.

⁹ Razón B/C: razón beneficio - costo.

¹⁰ ROE: "return on equity" o rentabilidad de las inversiones de la empresa.

¹¹ ROA: "return on assets" o rentabilidad de los bienes de la empresa.

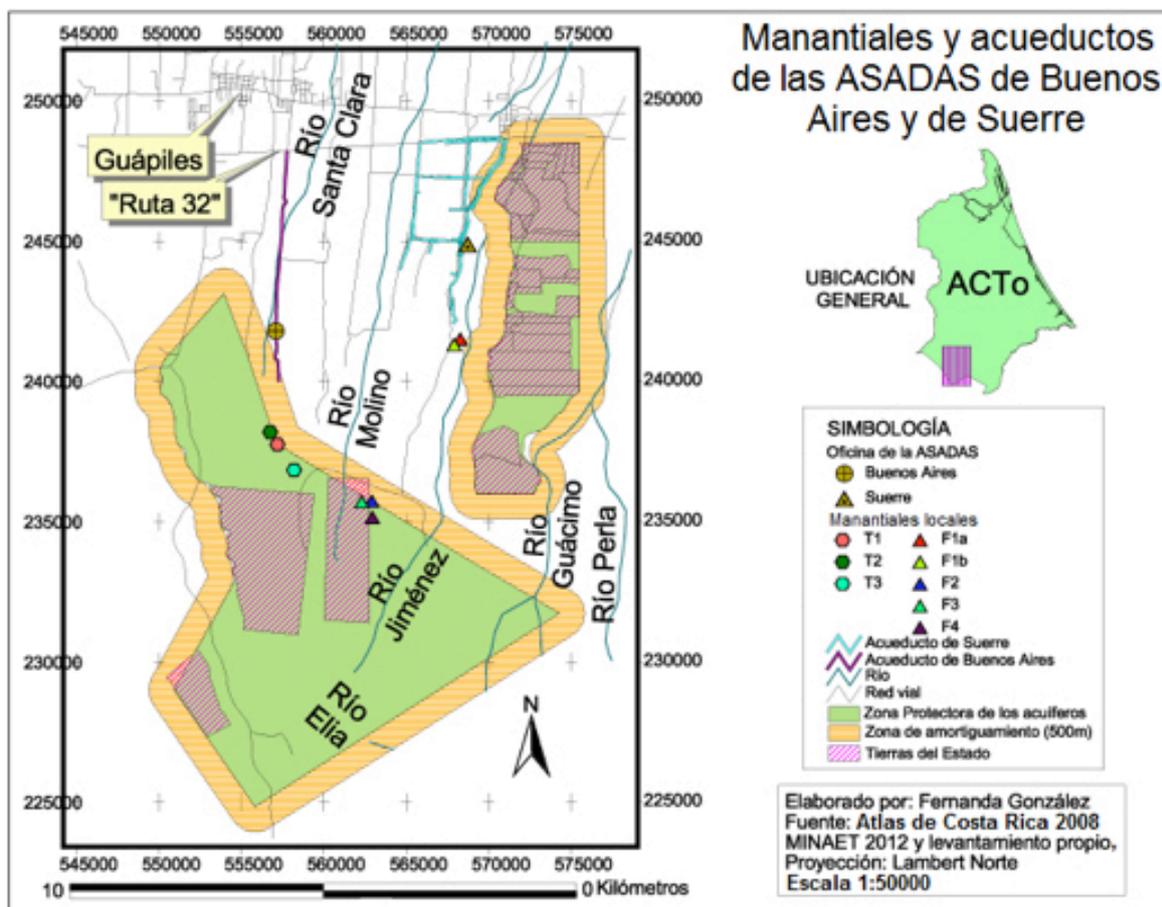


Figura 1. Detalle y ubicación de la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococi y de las ASADAS de Buenos Aires y de Suerre

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción general de las ASADAS en estudio y evaluación de su situación financiera

ASADA de Buenos Aires: Su acueducto fue creado en 1992, con apoyo de una donación de tuberías por parte del proyecto “mini-acueductos rurales” del MINSALUD y del trabajo de la población de entonces. Esta instalación, realizada sin asesoría técnica del AyA, corresponde a la parte más antigua del actual acueducto que continúa abasteciendo a la mitad de la comunidad.

Durante casi 20 años el acueducto fue administrado por la ADIBA. Sin embargo, hace tres años se conformó legalmente la ASADA, la cual cuenta con convenio de delegación del AyA, personería jurídica al día e inscripción, ante la Dirección de Agua, del manantial que aprovecha (“T1”; Figura 1 y Cuadro 1). Esta regulación legal, considerada importante (Imbach y Umaña 2009), le ha permitido a la ASADA contar con respaldo de funcionamiento del AyA y representa una oportunidad de acceso a varios beneficios como capacitación por parte del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) y exoneración de impuestos en la compra de equipos.

Con la fundación de la ASADA y el reciente apoyo financiero y técnico de la ONG ASIREA (finales de 2011) se ha logrado: a) incrementar la cobertura de abastecimiento de agua al 95% de la población, mediante la instalación de una tubería madre adicional (200 previstas activas); b) contratar personal (un contador, un administrador y un fontanero); c) brindar mantenimiento correctivo al acueducto; d) iniciar cortes del servicio, en caso de falta de pago; e) elaborar boletines informativos bimensuales para la comunidad; y f) brindar educación ambiental a niños de la comunidad. Es la primera vez que la ASADA se involucró en temas de gestión ambiental. La labor de las ONG en el fortalecimiento a organismos proveedores de agua, como la ASIREA en este caso, ha sido destacado por algunos autores (Carter 2010; RWSN 2011).

El actual acueducto está conformado por: a) captación o sitio de toma del manantial; b) dos tuberías madres; c) pequeño tanque de almacenamiento de 60 m³, ubicado en la parte media-baja de la comunidad; y d) red de distribución domiciliar (Figura 2). Todo el acueducto funciona por gravedad que es un sistema fácil de operar y no requiere tanta inversión (Imbach y Umaña 2009; Marín 2011).

Como en la mayoría de ASADAS (Imbach y Umaña 2009; Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011; Veas 2011), se cumple con la realización de una asamblea comunitaria anual, instancia en la que, cada dos años, se elige democráticamente a la nueva junta directiva. La actual junta está conformada por seis personas que se reúnen mensualmente en la escuela de la comunidad. La equidad de género dentro de la conformación de juntas directivas ha prevalecido a lo largo de los años por convicción propia y porque es exigido por el reglamento que rige a estas asociaciones (Decreto Ejecutivo No. 32529-S-MINAE, Reglamento de ASADAS, 2005). Este enfoque es

considerado como positivo y determinante de buen desempeño (Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011).

En cuanto a la oferta y demanda, en el 2008, se determinó que: a) en el periodo seco la capacidad máxima de captación de caudal por parte de la infraestructura de la toma del manantial "T1" fue de 3,48 l/s y b) la comunidad en días y horas pico demanda un caudal máximo de 5,7 l/s, con un déficit de 2,22 l/s (Fernández 2008). Por ello y por el crecimiento de la comunidad, se tiene proyectada la ampliación de su acueducto (1300 previstas más), aprovechando otro manantial "T2" o "T3" (Figura 1 y Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los manantiales de la ASADA de Buenos Aires

Manantial	Altitud (msnm)	Caudal (l/s)	Fuente	Fecha	Estado	Caudal concesionado (l/s)
T1	560	20	AyA	1995	Inscrita en el MINAET	5,8
		25,7	MINAET	18/05/2010		
		29,3	AyA	08/11/2010		
T2	540	100	AyA	1995	Pendiente	Pendiente
		98,5	AyA	08/11/2010		
T3	620	533	AyA	04/02/2010	Pendiente	Pendiente

Fuente: Modificado de AyA 1995; AyA 2010b; Dirección de Agua 2011a; Dirección de Agua 2011b

Dicha ampliación es un signo de una gestión autónoma, descrita en inglés por Carter (2006) y RWSN (2012) como "self-supply" (iniciativas locales para mejorar el abastecimiento de agua sin esperar ayuda del gobierno u otros donantes). Este tipo de gestión también ha sido reportada en comunidades donde la necesidad de RH ha generado organización y trabajo en equipo (Sara y Katz 1998; Danert y Sutton 2010). Se espera que el nuevo acueducto cuente con los requerimientos técnicos básicos para su correcto funcionamiento futuro, ya que en otros lugares, por el deseo de tener agua, se han construido estructuras no adecuadas ni sostenibles, por la falta de asesoría técnica y/o de inversión suficiente (Brikké y Bredero 2003; Danert *et al.* 2010).

Pese a la justificada necesidad de ampliar su acueducto, también es necesario incorporar micromedición en el actual y futuro acueducto. Respecto a este tema (que suele ser motivo de conflicto¹²), la mayoría de usuarios entrevistados (60,6%) respaldan esta medida; además, se espera que así los usuarios con excesiva demanda de agua (principalmente por llenado de piscinas recreativas y por lavado de autos) hagan uso más responsable del agua y disminuyan

su demanda de RH. La micromedición ha sido instalada exitosamente en otras ASADAS, aumentando sus ganancias y educando a los usuarios en consumo responsable y pago oportuno (Imbach y Umaña 2009; Arauz 2011; Veas 2011); además, es un signo de sostenibilidad y de la denominada demanda responsable (Narayan 1995; Sara y Katz 1998).

De toda la gestión financiera se encarga el contador y el administrador de la asociación. La rendición de cuentas a la comunidad, aunque continúa siendo baja (26,5% de los usuarios conoce cómo son administrados los fondos y de ese total un 88,6% está de acuerdo en cómo son manejados), ha mejorado mediante la actualización de los estados financieros y su divulgación. Sin embargo, este aspecto tiene que seguir mejorando, ya que es básico para generar confianza entre los usuarios (Sara y Katz 1998; Agrawal y Ribot 2000).

La ASADA cuenta con los siguientes principales ingresos: a) apertura de nuevas previstas; b) cobro del servicio, con una tarifa fija de ¢4000 (≈US \$ 8), la cual se paga en el supermercado de la comunidad y se deposita en una cuenta exclusiva (no incluye el pago por hidrantes); c) cobro a morosos, quienes tienen la posibilidad de realizar acuerdos de pago, de hasta seis meses, con la junta directiva; d) cobro por corte y reconexión del servicio; y e) donaciones.

¹² Smith, D. Micromedición en ASADAS (entrevista). Limón, Sugerencia de Sistemas Delegados del AyA, CR.



Figura 2. Principales estructuras del acueducto de Buenos Aires. De izquierda a derecha: obra de captación del manantial, tubos madre, tanque de almacenamiento y red domiciliaria

Los principales egresos mensuales corresponden al pago del personal contratado, a la compra de materiales de oficina y al mantenimiento correctivo del acueducto (Cuadro 2).

Como se evidenció, el manejo de los fondos, hasta cierto punto, ha mejorado (ingresos un poco superiores a egresos y, exceptuando la morosidad, los indicadores económicos mostraron buenos resultados; Cuadros 2 y 3). Como en esta ASADA, el problema de la morosidad es común en otros organismos de provisión de agua debido a la falta de cultura de pago de los usuarios (Sara y Katz 1998; Carter 2006; Imbach y Umaña 2009; Jones 2011).

Por la cantidad de ingresos, es evidente que aún existe un alto déficit financiero para incorporar acciones fundamentales para la sostenibilidad de la

ASADA: a) ampliación de su acueducto, b) mejoramiento preventivo del acueducto, c) incorporación de micromedición y d) compra de vehículo y de terrenos estratégicos (por presencia de manantiales o para instalar infraestructuras). El problema de no contar con terrenos propios se agrava porque la ASADA no ha realizado el trámite legal de servidumbres de paso a los terrenos que contienen las estructuras del acueducto.

El déficit financiero mencionado hace que esta ASADA se sume a otros organismos proveedores de agua cuya llamada en inglés “*financial resilience*” es baja (Imbach y Umaña 2009; Madrigal *et al.* 2010; Jones 2011; Madrigal y Alpizar 2011; Veas 2011; RSWN 2012).

Cuadro 2. Principales rubros económicos históricos de la ASADA de Buenos Aires (* ₡ 503 = 1 US \$)

Rubro	2009	2010	2011	2012
Ingresos totales	₡ 1.481.119*	₡ 9.051.905	₡ 16.459.226	₡ 20.280.000
Egresos totales	₡ 222.115	₡ 1.923.982	₡ 9.505.752	₡ 9.433.917
Superávit total	₡ 1.259.004	₡ 7.127.923	₡ 6.953.474	₡ 10.846.083
Activos totales	₡ 1.884.004	₡ 9.011.926	₡ 16.791.434	₡ 36.333.791
Pasivos totales	₡ 510.000	₡ 510.000	₡ 1.336.034	₡ 4.951.736
Patrimonio	₡ 1.374.004	₡ 8.501.926	₡ 15.455.400	₡ 31.382.055
Inversión inicial	₡ 5.331.985			

ASADA de Suerre: El acueducto fue inaugurado en el año de 1996 con el apoyo monetario, logístico y técnico de AyA, JAPDEVA¹³, MINAET¹⁴, IDA¹⁵ y de miembros de la comunidad. Junto con la instalación del acueducto nació la ASADA, que ha enfrentado

un desarrollo urbanístico y demanda del servicio de agua a gran escala (de 196 a 600 previstas activas).

La ASADA cuenta con personería jurídica y convenio de delegación del AyA al día. El personal contratado está conformado por dos fontaneros, un ayudante de fontanero, un contador, una recaudadora y una administradora (recientemente contratada); todos ellos cuentan con experiencia y capacitación e incluso uno de los fontaneros también ha realizado algunos cursos en el INA.

¹³ JAPDEVA: Junta Administrativa Portuaria para el Desarrollo de la Vertiente Atlántica.

¹⁴ MINAET: Ministerio del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

¹⁵ IDA: Instituto de Desarrollo Agrario.

Cuadro 3. Indicadores económicos de la ASADA de Buenos Aires

Indicador	Unidad	2009	2010	2011	2012	Interpretación	
Morosidad	%	80	33	54	40	Morosidad alta aunque ha disminuido	
VAN	₡	13.032.434				Valor positivo que demuestra rentabilidad y que la inversión inicial del acueducto quedó justificada	
TIR	%	77				Aceptable, ya que es mayor a la tasa inicial (10%) de utilidad asumida	
Razón B/C		6,7	4,7	1,7	2,1	Los ingresos siempre han sido mayores que los egresos	
ROE	%	92	84	45	35	Generó alta utilidad por su patrimonio en los dos primeros años por falta de inversión en materiales y personal, después disminuyó por aumento de egresos. Ningún valor es mayor de 100%; pero, es aceptable ya que su trabajo es sin fines de lucro.	
ROA	%	67	79	41	30	Existe rentabilidad sobre los activos; los valores son distintos al ROE por presencia de algunos pasivos	
Razón de endeudamiento	%	27 6 8				14	Las deudas han bajado considerablemente
Razón de autonomía	%	73	94	92	86	El nivel de autonomía es alto y ha ido incrementando	

La ASADA realiza una asamblea anual y cada dos años en ella se elige a la nueva junta directiva, la cual siempre ha sido conformada con equidad de género. La junta directiva actual se reúne quincenalmente para resolver asuntos referentes a la gestión del RH.

Además del recurso humano con el que cuenta la ASADA, la abundancia del RH del manantial que aprovecha ("F1") y las características técnicas adecuadas del acueducto (estudios geológicos y diseño previos adecuados, manantial protegido, tuberías de buen material, tanque de almacenamiento, válvulas y quiebra-gradientes, medidores, equipo de cloración de agua, etc.; Cuadro 4 y Figura 3) han hecho posible el abastecimiento de agua potable al 96% de la comunidad. García y Thomas (2003) y Danert *et al.* (2010) han destacado la importancia de la asesoría técnica inicial y la flexibilidad tecnológica del sistema hídrico para un adecuado funcionamiento.

En Suerre no se han realizado estudios específicos sobre la oferta y demanda. Pero la medición, en época seca, del caudal aprovechado y del excedente liberado al río Jiménez realizada con este estudio (13,8 l/s y 70,0 l/s, respectivamente) demuestran que existe suficiente RH. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la población demanda cada vez más agua: del 2009 al 2010 el consumo hídrico en la población incrementó en un 51,6% (Bonilla y Chávez 2011), por lo tanto, resulta necesario monitorear el incremento de consumo, con el fin de evitar problemas a largo plazo (Huang y Xia 2002; Ballesteros 2008; Minaverry 2008).

Gracias a su trayectoria y organización, tres sectores aledaños que no cuentan con agua potable han solicitado a la junta directiva de la ASADA que expandan su cobertura. Con base en la solicitud insistente de la ASADA (desde hace siete años), AyA diseñará y financiará parcialmente el nuevo acueducto en el próximo año¹⁶. La contrapartida de este proyecto, en términos financieros y logísticos, será brindada por la comunidad beneficiaria y por la ASADA lo que demuestra su demanda responsable y garantiza su sostenibilidad y empoderamiento (Narayan 1995; Sara y Katz 1998; Carter 2010; Madrigal y Alpizar 2011). Con este proyecto se abrirán 660 previstas; los manantiales a explotar ("F2", "F3" y/o "F4") son ricos en RH y están ubicadas en tierras estatales, existiendo la posibilidad de que el MINAET les concesione la tierra (Cuadro 1 y Figura 1).

La ASADA siempre ha estado involucrada, apoyando a ciertas instituciones en temas de gestión ambiental comunitaria (reciclaje con la Fundación Pococí Limpio, reforestación con la ASIREA, presentación de denuncias por incumplimiento de normativa ambiental al MINAET, colocación de rótulos de conservación del RH y apoyo logístico en talleres de educación ambiental), lo que representa una fortaleza importante.

La rendición de cuentas a los usuarios del agua aún no tiene mucho impacto; según las entrevistas,

¹⁶ González, J. Subgerencia de Sistemas Comunes del AyA y su relación con el nuevo proyecto para ampliación de cobertura del acueducto rural de Suerre (entrevista). San José, CR, AyA.

pocos de ellos conocen cómo son administrados los fondos (26,9%) aunque de estos, la mayoría (92,1%) está de acuerdo en cómo son manejados. Respecto

a la rendición de cuentas “hacia arriba” (Madrigal y Alpízar 2011), se entregan informes contables anuales al AyA para su auditoría.

Cuadro 4. Descripción de los manantiales de la ASADA de Suerre

Manantial	Altitud (msnm)	Caudal (l/s)	Fuente	Fecha	Estado	Caudal concesionado (l/s)
F1a	420	108	MINAET	07/04/1995	Inscrita en el MINAET	10,9
F1b		78,3	AyA	03/11/2010		
F2	635	65,2	AyA	04/11/2010	Pendiente	Pendiente
F3	650	45,1				
F4	700	74,1				

Fuente: Modificado de AyA 2010c; Dirección de Agua 2011a; Dirección de Agua 2011b



Figura 3. Principales estructuras del acueducto de la ASADA de Suerre. De izquierda a derecha: obra de captación, tanque de almacenamiento, quiebra gradiente e hidrante y oficina- bodega.

Los ingresos y egresos históricos anuales de la ASADA se muestran en el Cuadro 5. Con excepción del salón comunal y de la escuela comunitaria, todos los usuarios cuentan con micromedición (tema de alta relevancia, que en AL ha evitado desperdicio del recurso y ha favorecido el pago justo; RWSN 2011). Además, las tarifas de los usuarios son diferenciadas entre consumo doméstico, empresarial o industrial. El cobro por instalación de una nueva prevista sigue las indicaciones de la ARESEP; se cobra también por instalación y mantenimiento de hidrantes. La ASADA también cuenta con ingresos por intereses generados por tres depósitos de dinero a plazo fijo.

Sus principales egresos corresponden a: mejora de su acueducto, pago de personal, realización de análisis de calidad de agua bimensuales y compra de las pastillas de cloración del acueducto. Además, con autofinanciamiento se han adquirido bienes claves para su gestión: a) terreno para futura oficina y centro de capacitación, b) oficina-bodega y c) minicamión.

Los usuarios pueden cancelar sus recibos en cualquier punto nacional que cuente con el sistema BN Servicios. La ASADA tiene un convenio con la empresa CISA S.A. quien le automatiza su gestión financiera (pago de los recibos, personas morosas,

cantidad adeudada y meses de atraso, emisión de recibos, listado de abonados, cobro de corte y reconexión, tarifa de hidrantes, etc.).

Debido al estricto cumplimiento de corte del servicio de agua en caso de falta de pago y al eficiente sistema de cobro, la morosidad es baja y la ASADA cuenta con liquidez financiera, la cual es considerada como determinante en el desempeño de un organismo provisor de agua (Imbach y Umaña 2009; Madrigal y Alpízar 2011). Este aspecto también se evidencia en los buenos resultados de los indicadores económicos evaluados (Cuadro 6).

El éxito financiero es considerado como un pilar fundamental (García y Thomas 2003; Flores 2009; Imbach y Umaña 2009; Carter 2010; Madrigal et al. 2010; Madrigal y Alpízar 2011; Veas 2011; RWSN 2012) para asegurar la sostenibilidad de la asociación a la largo plazo.

Como se pudo observar, existe una alianza positiva existente entre esta ASADA y el sector público y privado. Característica poco peculiar lograda con persistencia, orden y determinación de las juntas directivas que han solicitado ayuda oportuna, recibiendo los beneficios ya detallados, sin que esto deslegitime su gestión autónoma. Esta alianza, llamada en inglés “external support”, es valiosa y positiva según RWSN (2012).

Cuadro 5. Principales rubros económicos históricos de la ASADA de Suerre (* ₡ 503 = 1 US \$)

Rubro	2009	2010	2011
Ingresos totales	₡ 27.636.963*	₡ 56.139.627	₡ 77.519.969
Egresos totales	₡ 13.745.238	₡ 14.492.060	₡ 26.248.596
Superávit total	₡ 13.891.725	₡ 41.647.566	₡ 51.271.372
Activos totales	₡ 72.068.589	₡ 109.348.087	₡ 154.433.339
Pasivos totales	₡ -	₡ -	₡ -
Patrimonio	₡ 72.068.589	₡ 109.348.087	₡ 154.433.339
Inversión inicial	₡ 30.000.000		

Cuadro 6. Indicadores económicos de la ASADA de Suerre

Indicador	Unidad	2009	2010	2011	Interpretación
Morosidad	%	3	3	3	La morosidad siempre ha sido baja
VAN	₡	50.517.508			Valor positivo que demuestra rentabilidad y que la inversión inicial del acueducto quedó justificada
TIR	%	78			Aceptable ya que es mayor a la tasa inicial (10%) de utilidad asumida
Razón B/C		2,0	3,9	3,0	Los ingresos siempre han sido mayores que los egresos, ya que todos los valores de este indicador son mayores que 1
ROE y ROA	%	19	38	33	Genera entre 19 a 38% de utilidad por sus activos. No hay diferencia entre el ROE y el ROA, ya que los activos y el patrimonio son iguales por ausencia de pasivos. Ningún valor es mayor que 100%; pero es aceptable ya que su trabajo es sin fines de lucro.
Razón de endeudamiento	%	0	0	0	No presenta ninguna deuda a pagar
Razón de autonomía	%	100		100	La autonomía es total por no tener deudas

Vulnerabilidad de los sistemas hídricos (acueductos) de las ASADAS en estudio

ASADA de Buenos Aires: La vulnerabilidad del sistema sin ponderación según los componentes del mismo fue de 51,5% y con ponderación de 47,4%, que corresponde, en ambos casos, a una vulnerabilidad media (Figura 12 y Cuadro 7). Es común encontrar este grado de vulnerabilidad en sistemas hídricos (Mendoza 2008; Sandoval 2010; Veas 2011).

La vulnerabilidad de cada componente varió entre 28,6% (por la destacada gestión administrativa y financiera actual y por el capital humano de su personal) y 100% (por su nulo tratamiento del agua) (Cuadro 7).

Los componentes con mayor vulnerabilidad fueron la calidad de agua (tema a tratarse posteriormente), su manejo post-uso y el tratamiento de las aguas resi-

duales (en las entrevistas realizadas a los usuarios un 94,7% consideró importante que se estas sean tratadas). Varios autores (Mendoza 2008; Hernández 2010; Sandoval 2010; Veas 2011) también determinaron que la vulnerabilidad de los acueductos analizados se debía, principalmente, a la falta de alcantarillado sanitario y de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Adicional a los problemas mencionados, varios componentes del sistema hídrico presentan vulnerabilidad media debido al estado deteriorado de su acueducto y a la, ya mencionada, falta de respaldo y asesoría técnica al momento de su diseño y construcción. Pese a la alta relevancia que tiene la infraestructura, es frecuente encontrar este tipo de problemas en acueductos rurales manejados por comunidades (Danert *et al.* 2010; Jones 2011). No siempre el presupuesto alcanza para realizar mejo-

ras y mantenimiento necesarios a los acueducto y, además, las donaciones (estatales o privadas) se han centrado en construir nuevos acueductos, olvidándose de dar mantenimiento y mejorar a los existentes (Lockwood 2004; Carter 2006; Flores 2009; Carter 2010; Jones 2011; Madrigal y Alpízar 2011; RWSN 2011; RWSN 2012).

ASADA de Suerre: A diferencia de los estudios ya mencionados, la vulnerabilidad de su sistema hídrico fue de 24,2% (sin ponderación de sus componentes) y de 21,7% (con ponderación) lo que corresponde, en ambos casos, a una vulnerabilidad baja (Figura 4 y Cuadro 7). Los únicos componentes que aumentan la vulnerabilidad nuevamente son el manejo del agua en el hogar y el manejo post-uso de agua (Figura 4). El problema de falta de tratamiento de aguas residuales no solo preocupa al personal de la ASADA sino

también a su comunidad (el 95,7% de usuarios entrevistados consideraron que se deben tomar medidas urgentes al respecto). Por ello, esta asociación, está apoyando un estudio para la instalación domiciliar de un sistema de tratamiento de aguas residuales y que genera biogás. Esta innovadora iniciativa pretende dar inicio a un tema que ha sido olvidado por completo por las entidades gubernamentales. Una vez que el proyecto piloto haya sido instalado con éxito, en un futuro cercano, se pretende implementar dicho sistema en los restantes usuarios.

La falta de conocimiento respecto a un adecuado manejo del agua en el hogar, pese a que según Jones (2011) es un tema sencillo de difundir a los usuarios, no es una excepción encontrada en estas ASADAS, ya que la capacitación (aunque sea poca) se ha enfocado a los comités de agua y no a los usuarios (Sara y Katz 1998).

Cuadro 7. Vulnerabilidad del sistema hídrico de las ASADAS en estudio

Componente	ASADA de Buenos Aires		ASADA de Suerre	
	Vulnerabilidad (%)	Caracterización	Vulnerabilidad (%)	Caracterización
A. Zona de recarga hídrica	18,75	Muy baja	31,25	Baja
B. Manantial aprovechado	45,83	Media	12,50	Muy baja
C. Obra de captación	35,00	Baja	5,00	Muy baja
D. Línea de conducción	55,00	Media	10,00	Muy baja
E. Tanque de almacenamiento	50,00	Media	14,29	Muy baja
F. Red de distribución	41,67	Media	16,67	Muy baja
G. Tratamiento del agua	100	Muy alta	8,33	Muy baja
H. Manejo de agua en hogar	50,00	Media	50,00	Media
I. Manejo post-uso	90,00	Muy alta	90,00	Muy alta
J. Gestión administrativa	28,57	Baja	3,57	Muy baja
Sistema sin ponderación	51,48	Media	24,16	Baja
Sistema con ponderación	47,37	Media	21,65	Baja

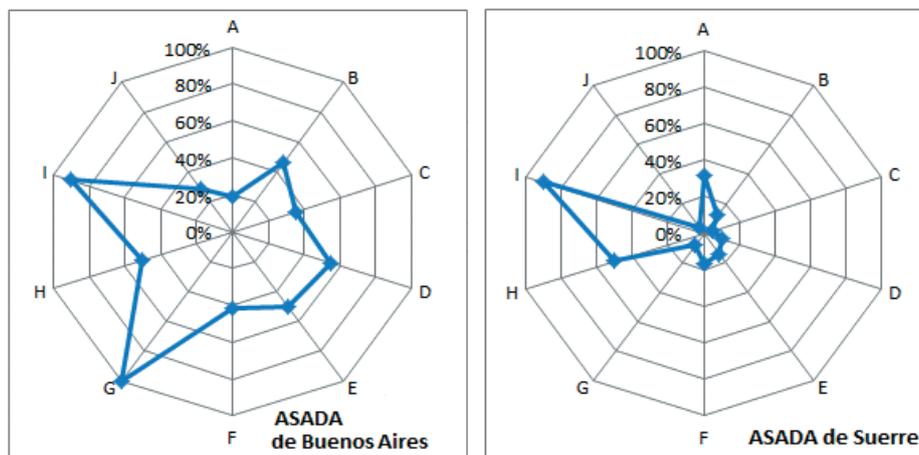


Figura 4. Variación de la concentración de oxígeno disuelto y la desviación estándar en el arrecife La Boquita durante septiembre a noviembre de 2009.

Eficiencia operativa en la conducción del agua en el sistema de abastecimiento de la ASADA de Suerre

Los cálculos del caudal en aprovechamiento de las sub-tomas del manantial y del tanque de almacenamiento de esta ASADA muestra una alta eficiencia del acueducto (98,5%; Cuadro 8).

La eficiencia encontrada es similar que en tres acueductos rurales de la microcuenca San Juan Otontepec (México) que obtuvieron, en promedio, un 96,4% de eficiencia (Sandoval 2010). Es más alta que en: a) dos acueductos de la cuenca del río Barbas Quindío

(Colombia) que cuentan, en promedio, con un 42% de eficiencia (Tehelen 2006); b) un acueducto en la microcuenca La Pagua (México) que tiene un 82,6% de eficiencia; y c) varios acueductos municipales de la cuenca alta del río Caldera (Panamá) que presentaron eficiencia, en promedio, del 70% (Arosemena 2010).

Este resultado es una muestra más del éxito operacional de la ASADA alcanzada por su mantenimiento preventivo y por las mejoras constantes al acueducto evitando fugas; factores considerados como signo de buen desempeño o alto rendimiento en una ASADA (Madrigal y Alpízar 2011).

Cuadro 8. Caudales y eficiencia operativa en la conducción de agua de la ASADA de Suerre

Infraestructura		No.	Velocidad (m/s)	Diámetro tubería (m)	Área tubería* (m ²)	Caudal* (l/s)	Caudal promedio (l/s)		Eficiencia (%)
Manantial (Q inicial)	Sub-toma 1	1	0,499	0,1524	0,0182	9,082	11,12	13,97	98,50
		2	0,63			11,466			
		3	0,704			12,813			
	Sub-toma 2	1	0,163			2,967			
		2	0,155			2,912			
		3	0,147			2,675			
Tanque de almacenamiento (Q final)		1	1,739	0,1016	0,00811	14,098	13,77		
		1,569							
		1,787							
		2							
		3							

Área* = $\pi \times \text{radio}^2$; Caudal* = área x velocidad.

Calidad del agua de las ASADAS en estudio

La calidad de agua que brindan los sistemas de provisión de agua es considerada como una característica primaria y relevante de buen desempeño que debe ser monitoreada constantemente (Carter 2006; Jones 2011; Madrigal y Alpízar 2011; RWSN 2012).

Según el MINSALUD el agua es potable cuando: "cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud" (Decreto No. 32327-S, Reglamento para la calidad del agua potable, 2005).

En ambas ASADAS los análisis de calidad de agua han sido esporádicos (cada dos, tres, cuatro o hasta cinco años) por falta de capacidad institucional del LNA y del AyA; sin embargo, en ambos casos, se cuenta con análisis recientes.

ASADA de Buenos Aires: Igual a lo documentado para otros sistemas de provisión de agua mundiales (Helmer 1999; Carter 2006; Sandoval 2010; RWSN 2011; RWSN 2012) e incluyendo al 50% del sector

rural de Costa Rica (Mora y Portuguez 2000; Flores 2009), uno de los principales problemas que afronta esta ASADA es la calidad de agua.

No existe un sistema de desinfección y el agua presenta coliformes fecales (de 3 a 23 UFC/100 ml en seis análisis de calidad de agua realizados por el LNA durante el periodo 2001-2010) provenientes, probablemente, de animales silvestres que se acercan a beber agua en un transecto (8 m) donde el agua sale a la superficie antes de volver a infiltrarse para aflorar en la obra de captación del manantial "T1".

Este resultado refuerza la percepción del 24% de la población que menciona que el agua, en su calidad general, es regular o mala (Figura 5). Pese a las quejas mencionadas, la mayoría de las familias (66%) consumen el agua de la llave directamente. Afortunadamente, un 82% de las familias encuestadas no han sufrido enfermedades relacionadas con el uso de agua no potable; el restante 12% ha sufrido diarreas frecuentes, parasitosis (incluyendo amebiasis), hongos o manchas en la piel (Figura 6). Pese a que los dos primeros cuadros patológicos también pueden ser atribuidos por otros factores relacionados

con la higiene personal y doméstica (Sutton 2004; Peal *et al.* 2010; RWSN 2011) concuerdan con estudios que mencionan una relación directa entre calidad de agua y salud (Helmer 1999; Arnold y Colford 2007; Luby 2007; Roman 2009; Jain *et al.* 2010).

Dejando de lado el análisis bacteriológico, según el último análisis de calidad de agua realizado por el LNA (2010), los demás parámetros físico-químicos evaluados (calcio, pH, nitratos, cloruros, turbiedad, color, etc.) están dentro de los niveles permisibles para consumo humano según la normativa. La principal razón de lo encontrado es que la fuente de agua se encuentra dentro de la ZP de los acuíferos de Guácimo y Pococí (Figura 1). Estos resultados están correlacionados con la buena percepción de los usuarios respecto al olor y sabor del agua consumida; aunque en términos de color la satisfacción baja debido a que en la red domiciliar ingresan sedimentos suspendidos por falta de filtro en el manantial y, en especial, por el ingreso de materiales (arena y tierra) al acueducto al momento de arreglar fugas sin el cuidado necesario (Figura 5).

Para mejorar los problemas encontrados, hace falta solucionar el tema de los sedimentos suspendidos e instalar un sistema básico de desinfección. Para la desinfección se podría utilizar cloración (78% de los usuarios entrevistados creen urgente que se aplique esta medida) o filtros que mejoran la calidad de agua, reducen los cuadros de diarreas e involucran a la población abastecida (Stauber *et al.* 2009; Danert y Sutton 2010; Aiken *et al.* 2011).

Como medida preventiva respecto a la presencia de coliformes fecales, la ASADA ha solicitado al AyA un clorador; mientras esta gestión se concreta, ha entregado volantes a los usuarios solicitando tomar medidas preventivas como hervir el agua, utilizar filtro antes de consumirla o no utilizarla para consumo directo. Un 31% de las familias desconocían que el agua no era clorada.

ASADA de Suerre: La calidad de agua entregada que reciben los usuarios es muy buena; tanto los análisis bacteriológicos y físico-químicos realizados por el LNA y por el laboratorio privado Kerygma S.A. muestran que es potable. Este resultado va acorde con la percepción de la gente que señala, en su gran mayoría, que el agua es de muy buena a excelente calidad y que no ha padecido, con pocas excepciones, de enfermedades relacionadas con el consumo de agua (Figuras 5 y 6). Esta confianza ha generado que el 98% de las familias entrevistadas consuman el agua directamente de la llave.

Un problema reciente (inicios de 2012), detectado en el manantial y no en los restantes puntos de muestreo (tanque de almacenamiento y red domiciliar) es la presencia de coliformes fecales (2 a 6 UFC/100 ml en dos análisis bacteriológicos en el 2012). Este problema, preocupa a los miembros de la junta directiva quienes creen que las posibles causas son las actividades que, sin ningún control por parte de

las autoridades locales, se realizan en terrenos ubicados a mayor altitud del manantial (principalmente ganadería y desarrollo urbano) y/o la superficialidad de la captación del manantial (que facilita el ingreso de agua lluvia); se conoce que estos factores tienen una alta relación con la calidad del agua (Arduino *et al.* 2012).

Para despejar estas dudas hace falta conocer con exactitud de dónde proviene el agua que aflora en el manantial en aprovechamiento (tema también sugerido por Gentes 2010), ya que los estudios sobre la ubicación de las zonas de recarga hídrica han sido generales para todo el ACTo (Birkel *et al.* 2006; PRODUS 2006; Birkel 2007). El acueducto cuenta con un buen sistema de cloración que elimina estas bacterias, sin embargo, esta medida no soluciona el problema en su punto de origen, descrito en inglés como “*unsafe sources*” por Carter (2006).

La cantidad de cloro residual (parámetro percibido por la mayoría de usuarios como “excelente” o “bueno”; Figura 13), presenta concentración deficiente pese a que los fontaneros evalúan diariamente la cantidad de este compuesto para evitar falta o exceso del mismo. Los resultados del último análisis físico-químico del LNA (2012) mostraron una concentración de 0,16 mg/L que no está cumpliendo con el reglamento, que exige de 0,3 a 0,6 mg/L de concentración. Es necesario ajustar la dosis, tanto por el problema de coliformes en el manantial, como por el alto consumo directo de agua de la llave por parte de la comunidad.

Los análisis para otros parámetros físico-químicos también mostraron que, en general, el agua es de buena calidad, lo que concuerda con la buena percepción de los usuarios respecto al color, olor y sabor del agua (Figura 5). Respecto del magnesio y potasio, únicos parámetros que no cumplen el reglamento de agua potable por su relativamente alta concentración (69 y 39 mg/L, respectivamente en el último análisis mencionado), el LNA manifestó que la causa de esto es por la mineralización del agua de Suerre, lo que no pone en riesgo la salud de las personas¹⁷.

Los resultados encontrados en ambas ASADAS muestran, como en el estudio de Veas (2011), que la satisfacción de la gente respecto a la calidad del agua aumenta cuando el acueducto se encuentra en buen estado, recibe mantenimiento adecuado, las fuentes de agua son seguras, el agua recibe desinfección y las obras de captación de agua fueron bien construidas. Fontana y Frey (1994) indican que es importante triangular la información cualitativa; en este estudio se relacionó la información cualitativa de percepción de los usuarios sobre la calidad del agua con datos de calidad físico química y bacteriológica y ambos fueron complementarios.

¹⁷ Cruz, F. Funciones generales del LNA y breve interpretación de resultados de análisis físico-química del agua (entrevista). Tres Ríos, CR, LNA.

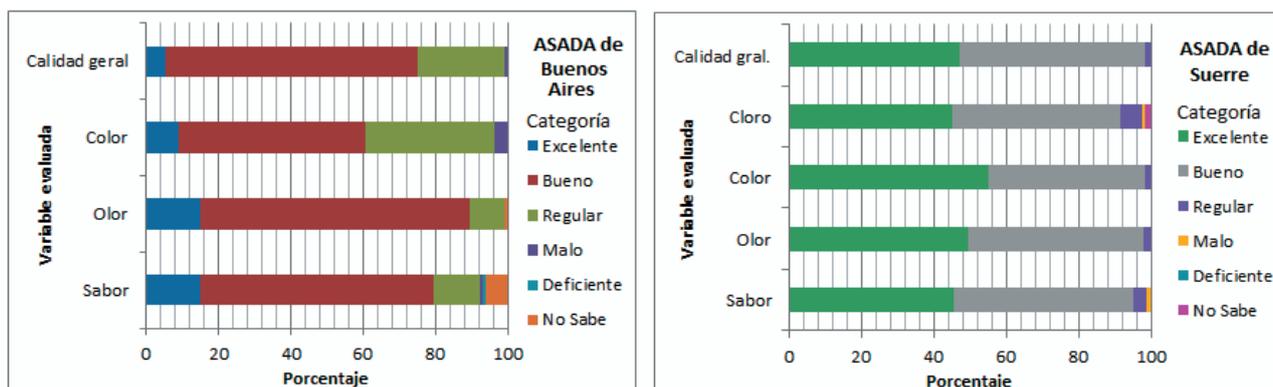


Figura 5. Percepción de los usuarios respecto a la calidad de agua que reciben

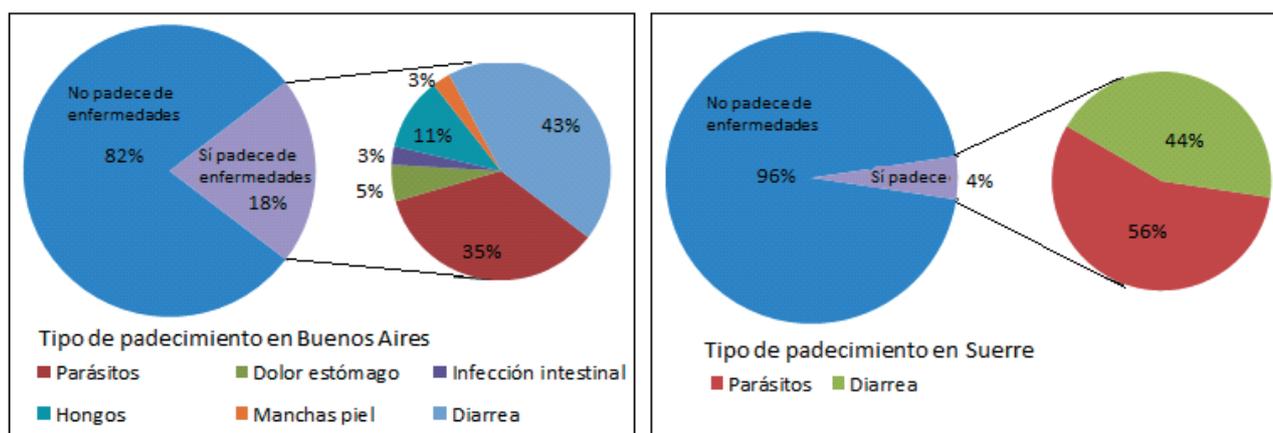


Figura 6. Padecimiento de enfermedades relacionadas con el consumo de agua en los usuarios de las ASADAS en estudio

Percepción de los usuarios con relación a la gestión general de sus ASADAS

La percepción, incluyendo el grado de satisfacción del usuario sobre la gestión de un sistema de provisión de agua, es otro de los factores determinantes de buen desempeño en una organización (Madrigal *et al.* 2010; Madrigal y Alpizar 2011); además, es una herramienta que permite conocer el estado general de la administración y gestión de un sistema de provisión de agua para incorporar mejoras continuas (McCabe *et al.* 1970; Sara y Katz 1998; Carter 2006; Flores 2009; Madrigal *et al.* 2010; Arauz 2011; Madrigal y Alpizar 2011).

ASADA de Buenos Aires: Esta ASADA presenta una percepción general media por parte de sus usuarios, respecto a la mayoría de variables evaluadas; las calificaciones más frecuentes para estas variables fueron “bueno” o “regular”, siendo la primera la más frecuente. Pese al problema mencionado que sufren los usuarios en la época más seca y horas pico, la variable mejor valorada fue “cantidad de agua”, ya que los usuarios consideran que en general siempre hay suficiente agua para sus necesidades. Varias personas se quejaron por la falta de continuidad del servicio debido al arreglo constante,

sin aviso previo, que se tiene que hacer para arreglar fugas de agua (Figura 7).

Un alto porcentaje de usuarios entrevistados, por desconocimiento, no pudieron opinar sobre la junta directiva, el mantenimiento del acueducto y el trato que reciben por parte del personal de la ASADA (35,6%, 23,5% y 18,9%, respectivamente; Figura 8).

Los resultados encontrados son consecuencia de las deficiencias que presenta su acueducto (problema también percibido por los usuarios), pero cuyo personal brinda un buen servicio (Figura 7).

Respecto a las asambleas de la ASADA, la mayoría de familias entrevistadas (62,1%) nunca habían asistido, por lo que no pudieron opinar al respecto. Las restantes (37,9%) tuvieron una baja satisfacción por: a) baja participación de los jóvenes pese a que este sector tiene un alto potencial (Jones 2011; Madrigal y Alpizar 2011) (problema que será resuelto con la aprobación del nuevo reglamento de estas asociaciones que incluye alternativas para que ingresen jóvenes a las juntas directivas); b) insuficiente cantidad de asambleas; c) el estilo por su monotonía y forma tradicionalista de realizarlas; y d) falta de cobertura en los temas de interés por el tiempo limitado. En cuanto a la participación de la mujer y el ambiente que impera en las asambleas

los usuarios estuvieron satisfechos y mencionaron que en ellas se puede opinar libremente y que sus sugerencias son tomadas en cuenta (Figura 8).

La percepción general media de los usuarios podría estar relacionada con su baja participación en la gestión de la ASADA; si los usuarios se involucran con su organismo provisor de agua, se mejora la satisfacción respecto a su servicio y gestión (Sara y Katz 1998; Veas 2011).

ASADA de Suerre: Todas las variables evaluadas mostraron alta satisfacción por parte de los usuarios (Figura 7). La variable con mayor satisfacción fue “cantidad de agua” lo que demuestra la abundancia en RH del manantial aprovechado. La buena satisfacción por “continuidad del servicio” es resultado del esfuerzo que hace la ASADA en programar las fechas de corte anuales y difundirlas entre los usuarios.

Hay bastante desconocimiento por parte de los usuarios respecto a la junta directiva, infraestructu-

ra del acueducto y su mantenimiento (Figura 7), demostrando que es necesaria la búsqueda de nuevos medios para informar e incluir a todos los usuarios en la gestión de la asociación.

Respecto a las asambleas comunitarias, pocas familias pudieron opinar al respecto, debido a que la mayoría (73,5%) nunca había acudido a las mismas. De las familias que sí pudieron responder (Figura 8), se encontró una buena satisfacción en cuanto al ambiente (con ciertas excepciones) y a la participación de la mujer por las mismas razones que se detalló para el caso de Buenos Aires.

El estilo y los temas que se tratan en las asambleas presentaron algunas quejas (que ya fueron mencionadas para el caso de Buenos Aires), aunque impera una buena percepción. Las variables con menor satisfacción fueron el número de asambleas y la participación de los jóvenes, por las mismas razones ya mencionadas antes (Figura 8).

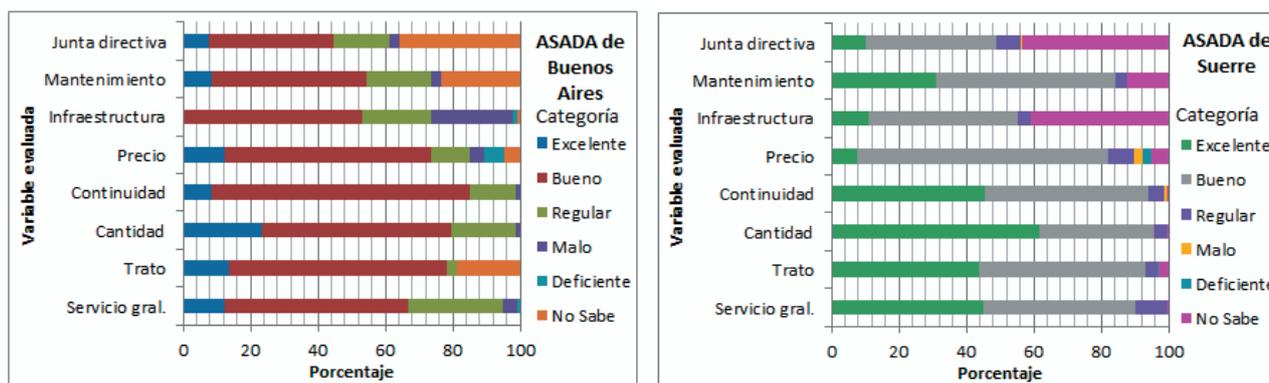


Figura 7. Percepción general de los usuarios respecto a la gestión general de sus ASADAS

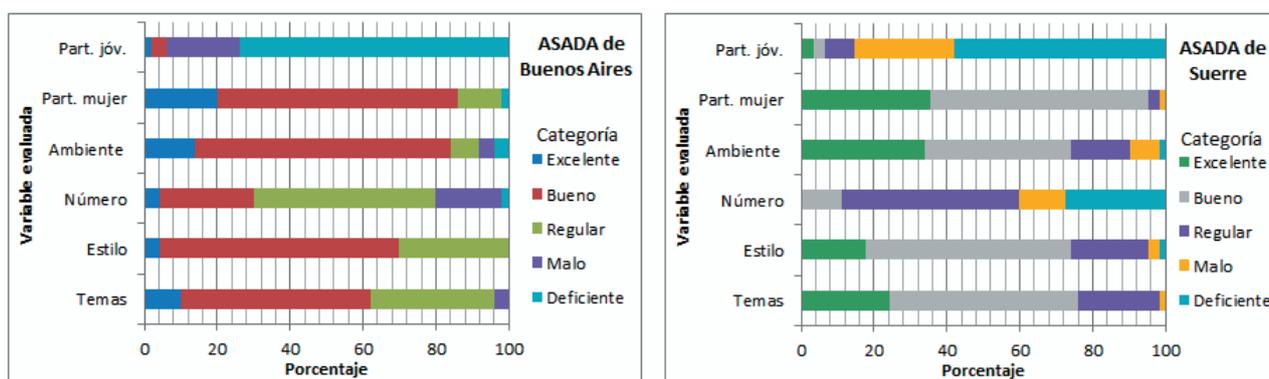


Figura 8. Percepción de los usuarios respecto a las asambleas comunitarias de sus ASADAS

Participación de los usuarios y ubicación de las ASADAS en estudio en la escalera de participación de Geilfus

Si bien este estudio no tiene un enfoque comparativo se tratará a ambos casos de forma conjunta por sus resultados similares. En ambas ASADAS la participación por parte de la comunidad es muy baja. La cantidad de “asociados” (personas que al realizar una solicitud ante la junta directiva tienen voz y voto en las asambleas) corresponden solo al 17% y al 10% del total de casas usuarias de los acueductos de Suerre y de Buenos Aires, respectivamente.

El nivel de concurrencia a las asambleas comunitarias es en promedio bajo (8% y 5% del total de casas usuarias en Suerre y Buenos Aires, respectivamente). Otro aspecto a resaltar es que al entrevistar a los usuarios de Buenos Aires y de Suerre, solo el 25% y 22%, respectivamente, desearían en algún momento formar parte de la junta directiva de la asociación.

Al igual que en otros organismos de provisión de agua (Carter 2006; Imbach y Umaña 2009; Arauz 2011; Jones 2011; Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011; Veas 2011; RWSN 2012), existe poco interés y compromiso de las comunidades en participar en la gestión de sus asociaciones. Este problema es preocupante ya que, según (Flores 2009), “la participación de los usuarios es uno de los principales factores determinantes del desempeño de la organización y del desarrollo de capital humano en la administración y la operación de los sistemas”. Además, la participación efectiva garantiza que las decisiones no sean monopolizadas por grupos de poder, sino que más bien sean influenciadas por todas las partes involucradas (Narayan 1995). Como consecuencia, durante este estudio, varios usuarios en ambas ASADAS manifestaron su incomodidad porque sienten que la gestión de los acueductos se basa en pequeños grupos de líderes comunitarios que mantienen monopolio de poder.

Para ubicar a ambas ASADAS en la escalera de participación, inicialmente se debe aclarar que la participación es diferente entre juntas directivas y usuarios. Los usuarios a su vez están divididos en dos grupos: a) los que están asociados y asisten a las asambleas de la ASADA (minoría), y b) los usuarios que, siendo o no asociados, nunca acuden a estas.

Por la forma cómo las juntas directivas participan en la gestión del RH, ellas se encuentran en el último escalón llamado “autodesarrollo” ya que son las protagonistas de sus decisiones, muchas de las cuales, han surgido por iniciativa propia (ej. ampliación de

sus acueductos). Una de las principales ventajas de contar con este tipo de participación es que hay mayor seguridad de que el servicio de provisión de agua continuará a largo plazo. Sostenibilidad en el tiempo que es contraria a los resultados de continuidad decadente de comunidades a las que, sin estudios previos de viabilidad social y sin promover “autogestión”, se les dona acueductos con un enfoque tradicional paternalista del gobierno u organismos cooperantes (Narayan 1995; Sara y Katz 1998; Ostrom *et al.* 2001; Carter 2006; Moss *et al.* 2006; Carter 2010; Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011; RWSN 2012).

Por su parte, todos los usuarios de ambas ASADAS caen dentro de la categoría que Jones (2011) denomina en inglés “*participation as payment*”, ya que el pago por el servicio de provisión de agua, como ya ha sido descrito, está regulado por ley y su incumplimiento es penalizado.

Para el caso de los usuarios que asisten a las asambleas también se estaría tratando de una participación funcional ya que ellos, si bien no tienen incidencia en la formulación de los proyectos planteados por la junta directiva, sí pueden decidir su aprobación o no y realizarles los ajustes que crean convenientes. Para el caso de los usuarios que no asisten a las asambleas se estaría hablando de un primer escalón llamado “pasividad”, ya que no tienen ninguna incidencia en las decisiones de la gestión del RH que realiza su ASADA respectiva.

Estrategias y acciones para mejorar la gestión de las ASADAS en estudio

El Cuadro 9 muestran las estrategias propuestas para mejorar la gestión de las ASADAS en estudio; se espera que estas sean aplicadas de forma holística, ya que la implementación de estrategias de forma aislada en la gestión del RH ocasiona soluciones no integrales y de corto alcance (Dourojeanni y Jouravlev 2001). Estas estrategias, con las respectivas adaptaciones, podrían ser utilizadas para mejorar la gestión de otras asociaciones.

Algunas de las estrategias son similares a las propuestas por otros investigadores (Sara y Katz 1998; Helmer 1999; Brikké y Bredero 2003; Carter 2006; Arnold y Colford 2007; Astorga 2008; Arosemena 2010; Butterworth *et al.* 2010; Carter 2010; Danert *et al.* 2010; Gentes 2010; Hernández 2010; Peal *et al.* 2010; Sandoval 2010; Dorado *et al.* 2011; Jones 2011; Marín 2011; Veas 2011); sin embargo, las propuestas por este trabajo responden a las características intrínsecas de cada ASADA.

Cuadro 9. Estrategias para mejorar la gestión de las ASADAS en estudio

1: ACTo, 2: Dirección de Agua, 3: MINSALUD, 4: DINADECO, 5: JAPDEVA, 6: AyA, 7: LNA, 8: Municipio de Pococí (Departamento de Gestión Ambiental), 9: ADEPO, 10: ASIREA, 11: Fundación Pococí Limpio, 12: INA, 13: Universidades locales, 14: ASADAS de Buenos Aires, 15: ASADA de Suerre, 16: ADIS y ADIBA, 17: usuarios y 18: ICE

Estrategia	Acciones de intervención	Actores
Gestión administrativa y financiera	Construcción de la visión y misión de la ASADA	14 y 15
	Rendición de cuentas hacia arriba con presentación de informes contables al AyA	14
	Inscripción notariada de servidumbre de paso de terrenos utilizados por la ASADA	
	Mayor rigidez en el cumplimiento de los acuerdos de pago de usuarios morosos	
	Inicio de cobro por hidrantes, comprarlos e instalarlos en la comunidad	
	Búsqueda de alternativas para automatizar la gestión de cobros de la ASADA	
	Incorporación de micromedición a usuarios	
Fortalecimiento del capital humano	Contratación permanente de personal (administrador, fontanero, contador, etc.) que cumplen funciones indispensables y críticas en la ASADA	14 y 15
	Inducción a las nuevas juntas directivas con las tareas a desempeñar, las funciones de las estructuras del acueducto y los programas que necesitan continuidad	
	Realización de intercambio de experiencias entre ASADAS	
	Capacitación al personal de ASADAS para recibir capacitación	14, 15 y 12
Participación, acceso de información y empoderamiento de la comunidad en la gestión de su ASADA	Incremento del número de asambleas con un enfoque distinto que vincule a grupos actualmente excluidos como niños y jóvenes (teatro, cines-foro, feria del agua, etc.)	14, 15 y 17
	Institucionalización de la publicación periódica de boletines informativos	
	Fomento del envío de artículos de los pobladores para el boletín de la ASADA	
	Rendición de cuentas hacia abajo presentando anualmente informes financieros en boletines de la ASADA (continuar con su presentación en las asambleas)	
	Difusión de la calidad del agua que se entrega a los usuarios en los boletines	
	Inclusión de temas ambientales en el boletín de las ASADAS	
	Elaboración de pancartas comunitarias informativas de la ASADA	
	Realizar un programa de visitas organizadas de los pobladores (incluyendo niños de las escuelas) a las estructuras del acueducto	
Incorporación de jóvenes en sus juntas directivas		
Provisión de agua de calidad	Inscripción y permanencia en el programa de "Sello de Calidad Sanitaria"	14, 15 y 7
	Monitoreo diario de la cantidad de cloro administrada y la residual	14 y 15
	Incluir algún sistema de desinfección para el agua suministrada	14
	Lavado interno de la obra de captación del manantial aprovechado	
	Instalación de un filtro en el manantial aprovechado y evitar el ingreso de sedimentos a la tubería al momento de arreglar fugas	
	Realización de análisis bacteriológicos periódicos del agua	
	Determinación del área exacta de recarga hídrica del manantial aprovechado	15 y 6
	Evaluación de la posibilidad de profundizar la obra de captación del manantial	
Continuidad del servicio	Programación y cumplimiento de fechas planteadas de corte de agua para dar mantenimiento al acueducto	14
	Difusión de las fechas de corte de agua a los usuarios para que puedan tomar medidas preventivas	
Estructuras del acueducto	Mantenimiento preventivo y remplazo de piezas viejas del acueducto	14 y 15
	Resguardo a la obra de captación del manantial	14
	Construcción de un tanque de almacenamiento con las características técnicas necesarias para su correcto funcionamiento en la parte alta de la comunidad	
Nuevo acueducto	Asesoramiento y supervisión técnica, apoyo logístico en el diseño, construcción e instalación de nuevos acueductos	14, 15, 5 y 6
	Búsqueda de ayuda de organismos de cooperación y donantes que quieran colaborar con fondos, equipo o materiales	14 y 15

Uso sostenible del RH	Instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales (se podría replicar el sistema piloto domiciliario que instalará un estudiante en Suerre)	8, 3, 6, 9, 2, 13, 14 y 15
	Instalación de alcantarillado sanitario	
	Capacitación a la comunidad sobre manejo de agua en el hogar (uso responsable y ahorro, sistema de almacenamiento, sistema desalojo de aguas residuales, etc.)	14, 15 y 17
Gestión ambiental	Propuesta de temas y proyectos para acompañamiento académico o financiero	14, 15, 13, 16, 4 y 10
	Programa de forestación y reforestación responsable con los árboles gratuitos de viveros locales en terrenos deforestados y/o cercanos a fuentes de agua	14, 15, 17, 13, 10 y 18
	Involucramiento de Buenos Aires en la gestión de Fundación Pococí Limpio; continuar y mejorar el reciclaje en Suerre. Sensibilización comunitaria sobre el este tema	14, 15, 17 y 11
	Sensibilización comunitaria en temas ambientales (conservación de los RRNN y del RH, reciclaje, problema de la contaminación y deforestación, entre otros)	14, 15, 1, 10, 8, 11 y 17
	Búsqueda de alternativas financieras como créditos para la compra de terrenos de importancia hídrica	14, 15
Planificación y/o planeación	Estudio de balance hídrico de las cuencas hidrográficas del país para determinar la oferta versus demanda de agua para consumo humano	2, 6, 14 y 15
	Estudio de demanda de las diferentes ASADAS para determinar infraestructura que necesite ser ampliada o, en su defecto, establecer nuevos proyectos	
	Propuesta de programa dirigido a consumidores de agua de ASADAS de educación para un uso responsable del RH con el fin de disminuir la presión sobre este recurso	
	Evaluación continua por parte del AyA de la eficiencia y eficacia de la administración y gestión de las ASADAS para proponer planes emergentes o de acción para subsanar fallos encontrados en estos procesos	
	Establecer un programa de monitoreo de la demanda anual de las ASADAS existentes	

CONCLUSIONES

- Es importante mencionar que la gestión del RH de cada ASADA u organismo provisorio de agua para consumo humano no es un modelo único, sino que debe adaptarse a las condiciones intrínsecas de cada comunidad (estado de desarrollo social, naturaleza e intensidad de los problemas con el agua, capacidades institucionales, condiciones naturales, grado de organización, cultura, nivel educacional, capital humano, etc.). Aunque la ASADA de Buenos Aires maneja un modelo de gestión casi autónomo, con mejoras y fortalecimiento de su gestión administrativa y financiera, aún debe enfrentar desafíos importantes para su sostenibilidad, principalmente asociados a las deficiencias en la infraestructura del acueducto y su mantenimiento.
- La ASADA de Suerre ha desarrollado un modelo de gestión eficiente que se evidencia en su buen funcionamiento administrativo, financiero, operativo y de infraestructura, que podría servir de ejemplo a otras ASADAS.
- La vulnerabilidad del sistema hídrico a cargo de la ASADA de Buenos Aires presenta una calificación general media (51,48%) y el de Suerre baja (24,16); los componentes que requieren mayor atención son el manejo del agua en el hogar y el manejo del agua post-uso.
- La eficiencia en la conducción del agua en el sistema de la ASADA de Suerre es muy alta (98,5%), lo que indica que el diseño, construcción, operación y mantenimiento del acueducto es adecuado.
- La calidad de agua que la ASADA de Buenos Aires entrega a los usuarios es deficiente, debido al ingreso de sedimentos a la red domiciliar y a que no existe un sistema de desinfección del agua. En la ASADA de Suerre, el agua de la red domiciliar se potabiliza mediante cloración, pero hay algunos problemas de contaminación por coliformes fecales en el manantial captado. Ambas ASADAS, pero principalmente la de Buenos Aires, debe priorizar en su plan de gestión, el mejoramiento de la calidad del agua que consumen la población.
- La gestión de la ASADA de Buenos Aires, en términos generales fue percibida por los usuarios como “buena”, mientras que en Suerre fue percibida como “excelente”, lo que corresponde con los resultados del análisis del funcionamiento de ambas asociaciones.
- Existe poco conocimiento y participación de la mayoría de usuarios del agua en las asambleas que organizan ambas ASADAS y en la gestión general de las mismas; por ello, se deben analizar y revisar los mecanismos de

- motivación, información, comunicación y participación, para promover mayor empoderamiento y corresponsabilidad (autodesarrollo en la escala de participación de *Geilfus*).
- Es necesaria la implementación de diversas estrategias, como las sugeridas en este estudio, para mejorar y consolidar la gestión integral de ambas ASADAS, en un propósito de suministro y manejo eficiente de agua en calidad, cantidad y disponibilidad y en una visión de gestión integral de las cuencas hidrográficas y de las zonas de recarga hídrica de esas fuentes de agua.
 - En términos generales es necesario mejorar ciertos procesos que son comunes a ambas ASADAS estudiadas y que seguro son frecuentes en otras ASADAS nacionales, entre estos se encuentran:
 - a. Mejorar el eje de gestión administrativa y financiera determinando las principales debilidades de cada ASADA. Ya que se ha observado que una de las principales debilidades que disminuye la rentabilidad de estas Asociaciones es la falta de cultura de pago se debería establecer un plan de cobro eficiente y rígido que, acompañado de un programa de sensibilización, contribuya al pago puntual por un recurso que es vital para los hogares.
 - b. Fortalecer el capital humano con el que cuentan las ASADAS estableciendo planes de capacitación continuos o elaborando perfiles mínimos que deberían reunir los empleados y las personas que serán parte de las juntas directivas.
 - c. Fomentar la participación de la comunidad en la gestión de las ASADAS con una o varias de las estrategias planteadas en este artículo.
 - d. Uno de los aspectos más importantes en la provisión de agua es que ésta sea de calidad con el fin de velar por la salud de los pobladores, es así que es vital el establecimiento de procesos de potabilización y/o otras alternativas para cumplir con este derecho humano. Adicionalmente, es de suma importancia, establecer un sistema de monitoreo de la calidad de agua es una herramienta básica para establecer las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua a través del tiempo y tomar medidas correctivas si fuera necesario.
 - e. Para lograr que se tome consciencia sobre este tema y evitar el despilfarro de agua, la gestión del RH debe ir acompañada de un proceso de educación y sensibilización a la población.

- f. Contar con una infraestructura que eficientemente conduzca el agua a través a los hogares es clave, por lo tanto, factores como: a) inversión inicial adecuada; b) asesoría técnica y logística en el diseño y construcción; c) capacitación sobre el funcionamiento de las estructuras; y d) mantenimiento y mejoras continuas de las estructuras, son claves para lograr sostenibilidad en el tiempo en la provisión de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, A; Ribot, J. 2000. Accountability in decentralization: a framework with Sout Asian and West African cases. New Haven (US), Yale University. 63 p.
- Aiken, B; Stauber, C; Ortiz, G; Sobsey, M. 2011. An assesment of continued use and health impact of the concrete biosand filter in Bonao, Dominican Republic. *The american journal of tropical medicine and hygiene* 85(2):309-317.
- Arauz, K. 2011. El proceso hacia una nueva institucionalidad en la gestión y el derecho al agua para consumo humano en Costa Rica: análisis de tres experiencias. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 163 p.
- Arduino, S; Colombo, G; Ocampo, O; Panzeri, L. 2012. Contamination of community potable water from land grabbing: a case study from rural Tanzania. *Water alternatives* 5(2):344-359.
- Arnold, B; Colford, J. 2007. Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhea in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *The american journal of tropical medicine and hygiene* 76(2):354-364.
- Arosemena, J. 2010. Gestión del recurso hídrico en la cuenca alta del río Caldera, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 221 p.
- Astorga, Y. 2008. Situación del recurso hídrico. En decimocuarto informe de estado de la nación en desarrollo humano sostenible. San José (CR), CONARE, La Defensoría de los Habitantes. 60 p.
- AYA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 1995. Ficha técnica: aforos Buenos Aires. San José (CR), AyA. 2 p.
- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR); OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2002. Análisis sectorial: agua potable y saneamiento de Costa Rica. Resumen Ejecutivo. San José (CR), AyA. 20 p.
- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 2010b. Informe de aforo en Buenos Aires Sur de Jiménez, Pococí. San José (CR), AyA. 2 p.

- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR). 2010c. Informe de aforo en Suerre de Jiménez, Pococí. San José (CR), AyA. p. 2 p.
- Ballester, M. 2008. Memoria VI conferencia centroamericana de legisladores del recurso hídrico: gobernabilidad del agua, visión de GWP Centroamérica. Arguello, L. San José (CR), GWP. 38 p.
- Barquero, A. 2009. Demanda creciente de agua y limitación de las fuentes accesibles. *Ambientico* 189(1):8-11.
- Birkel, C; Brenes, L; Salas, F. 2006. Estudios sobre tipo y uso de las aguas a nivel de subcuencas hidrográficas en toda el Área de Conservación Tortuguero. San José (CR), MINAE, UE. 55 p.
- Birkel, C. 2007. Delimitación empírica de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en Costa Rica. *Revista Reflexiones* 86(2):39-49.
- Bonilla, P; Chávez, J. 2011. Incremento del consumo de agua en la población de la comunidad de Suerre, estudio de "TCU" de estudiantes de la Universidad de San José. San José, Universidad de San José. 5 p.
- Bravo, S. 2003. Análisis de rentabilidad económica y financiera. Lima (PE), ESAN ediciones. 13 p.
- Brikké, F; Bredero, M. 2003. Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. Geneva (CH), World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre. 142 p.
- Butterworth, J; Warner, J; Patrick, M; Smits, S; Batchelor, C. 2010. Finding practical approaches to integrated water resources management. *Water alternatives* 3(1):68-81.
- Carter, R. 2006. Investigation options for self-help water supply: from field research to pilot interventions in Uganda. Nairobi (KE), Water and Sanitation Program - África, World Bank. 16 p.
- Carter, R. 2010. Myths of the rural water supply sector. *Rural Water Supply Network Perspectives* 4(1):1-7.
- Castro, R; Monge, E; Rocha, C; Rodríguez, H. 2004. Gestión local y participativa del recurso hídrico en Costa Rica. San José (CR), Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales.
- CWWA (Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales, TT); AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, BR); CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL); OEA (Organización para los Estados Americanos, US); OPS (Organización Panamericana de la Salud, US); OMS (Organización Mundial de la Salud, US); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, KE); ORPALC (Oficina Regional para América Latina y el Caribe, MX). 2003.
- Agua: no la tenemos tan segura. Lima, (PE), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 24 p.
- Danert, K; Armstrong, T; Adekile, D; Duffau, B; Ouedraogo, I; Kwei, C. 2010. Code of practice for cost-effective boreholes. Kampala (UG), RWSN. 36 p.
- Danert, k; Sutton, S. 2010. Accelerating self supply: a case study from Uganda 2010. *Self Supply Flagship* 4(1):1-12.
- Decreto Ejecutivo No. 32529-S-MINAE. Reglamento de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales. San José, CR. Diario Oficial La Gaceta. 5 ago. 2005.
- Decreto No. 17390. Creación de la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 15 dec. 1986.
- Decreto No. 32327-S. Reglamento para la calidad del agua potable. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 3 mayo 2005.
- Dirección de Agua. 2011a. Aforo cuenca Parismina Reventazón (en línea). San José, CR. Consultado 7 feb. 2012. Disponible en <http://www.drh.go.cr:8008/rp/reportOptions.action?exportType=0&submitRun=Ejecutar&reportId=24307>
- Dirección de Agua. 2011b. Concesión de agua del distrito Jiménez (en línea). San José, CR. Consultado 7 feb. 2012. Disponible en <http://www.drh.go.cr:8008/rp/reportOptions.action?exportType=0&submitRun=Ejecutar&reportId=24694>
- Dorado, V; Eguino, S; Ribera, M; Sangüeza, S. 2011. Mecanismos financieros del agua en América Latina. Ciudad de Panamá (PA), Fundación Avina. 154 p.
- Dourojeanni, A; Jouravlev, A. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. Santiago de Chile (CL), ONU, CEPAL. 83 p.
- Fallas, J. 2006. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica (en línea). Heredia, CR. Consultado 09 set. 2011. Disponible en http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/vulnera_agua_sub.pdf
- Fernández, C. 2008. Estudio preliminar del acueducto rural de Buenos Aires, Jiménez de Pococí. Guápiles (CR), ASADA de Buenos Aires. 2 p.
- Flores, C. 2009. Análisis de los determinantes del desempeño de operadores de acueductos rurales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 106 p.
- Fontana, A; Frey, J. 1994. The interview: from structured questions to negotiated text. *In* Denzin, N; Lincoln, Y. eds. 1994. Handbook of qualitative research. Washington, D.C. (US), Thousand Oaks: Sage Publications, Inc. 643 p.

- García, I. 2006. Efficiency measurement in spanish local government: the case of municipal water services. *Review of Policy Research* 23(2):355-371.
- García, S; Thomas, A. 2003. The structure of municipal water supply cost: application to a panel of french local communities. *Journal of Productivity Analysis* 16(1):144-163.
- Geilfus, F. 2005. 80 Herramientas de investigación participativa: diseño, planificación, monitoreo y evaluación. San José (CR), IICA. 134.
- Gentes, I. 2010. Sostenibilidad de los acueductos comunales en Costa Rica: desafíos pendientes para la gobernabilidad hídrica. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60(1):5-9.
- Guzmán, C. 2011. Matemáticas financieras para toma de decisiones empresariales. Málaga, ES. Consultado 23 Feb. 2012. Disponible en <http://www.eumed.net/libros/2006b/cag3/2f.htm>
- Helmer, R. 1999. Water quality and health. *The environmentalist* 19(1):11-16.
- Hernández, M. 2010. Gestión del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca La Pagua, Sierra de Otontepec, Veracruz, México, tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 189 p.
- Huang, G; Xia, J. 2002. Barriers to sustainable water-quality management. *Environmental Management* 61(1):1-23.
- Imbach, A; Umaña, C. 2009. Análisis de las ASADAS de Guatuso y los Chiles, Costa Rica. San José (CR), AECID, INBio. 25 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, CR). 2002a. IX Censo nacional de población: características económicas. San José (CR), INEC. 282 p.
- Jain, S; Sahanoon, O; Blanton, E; Schmitz, A; Wannemuehler, K; Hoekstra, R; Quick, R. 2010. Sodium Dichloroisocyanurate tablets for routine treatment of household drinking water in periurban Ghana: a randomized controlled trial. *The american journal of tropical medicine and hygiene* 82(1):16-22.
- Jones, S. 2011. Participation as citizenship or payment? A case study of rural drinking water governance in Mali. *Water alternatives* 4(1):54-71.
- Kauffman, S. 2009. Análisis FODA (en línea). Veracruz, ME. Consultado 22 set. 2011. Disponible en www.uv.mx/iiesca/revista4/foda.htm
- Ley No. 8641. Declaratorio del servicio de hidrantes como servicio público y reforma de leyes conexas. *Diario oficial La Gaceta*. San José, CR. 24 jun. 2008.
- Lockwood, H. 2004. Estudio de aspectos institucionales de desarrollo de los acueductos rurales en Costa Rica. Informe final. San José (CR), AyA, Agua-Consult. 127
- Luby, S. 2007. Quality of drinking water. *British Medical Journal* 334(7597):755-756.
- Madrigal, R; Alpízar, F; Schlüter, A. 2010. Determinants of performance of drinking-water community: a comparative analysis of case studies in rural Costa Rica. *Environmental for Development Discussion Paper Series EfD DP(10-03)*:1-32.
- Madrigal, R; Alpízar, F. 2011. Determinants of performance of community-based drinking water organizations. *World Development* 39(9):1663-1675.
- Marín, R. 2011. El acueducto comunitario óptimo: condiciones para la gestión efectiva de los servicios de agua. El caso de Costa Rica. San José (CR), AVINA. 22 p.
- McCabe, L; Symons, J; Lee, R; Robeck, G. 1970. Survey of community water supply systems. *Journal of American water works association* 62(11):670-687.
- Mendoza, M. 2008. Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 112 p.
- Minaverry, C. 2008. Valoración social del recurso hídrico y su relación con la crisis mundial de abastecimiento. *Recursos Naturales y Ambiente* 55(1):4-7.
- Mora, D; Portuguez, C. 2000. Diagnóstico de la cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica a principios del año 2000. *Revista Costarricense de Salud Pública* 9(16):1409-1429.
- Moss, T; Petterson, G; Van de Valle, N. 2006. An aid-institutions paradox? A review essay on aid dependency and state building in Sub-Saharan Africa. *Center for Global Development Working Paper* 74(11-05):1-28.
- Narayan, D. 1995. The contribution of people's participation: evidence from 121 rural water supply projects. *Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series No. 1*. Washington, D.C. (US), The World Bank. 120 p.
- Ostrom, E; Gibson, C; Shivakumar, S; Anderson, K. 2001. Aid, incentives, and sustainability. *Side Studies in Evaluation* 02/01. Gothenburg (SE), Indiana University.
- Peal, A; Evans, B; Voorden, Cvd. 2010. Hygiene and sanitation software: an overview of approaches. Geneva (CH), Water Supply & Sanitation. 156 p.
- ProDUS (Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible de la Universidad de Costa Rica, CR). 2006. Estudio hidrológico en el cantón Pococí y las partes altas al sur del cantón de Guácimo, alrededores de la Zona Protección Guácimo y Pococí. San José (CR), UCR. 150.
- Resolución No. RRG-9536-2009. Incremento de tarifas del servicio de acueducto prestado por los acueductos comunales dados en administración (ASADAS). *Diario Oficial La Gaceta*. San José, CR. 10 mar. 2009.

- Roman, H. 2009. Quality of drinking water. *Technology Teacher* 69(2):13-15.
- RWSN (Rural Water Supply Network, CH) (29 nov.-1 dic.). 2011. Rural water supply in the 21st century: myths of the past, visions for the future. Event report. Kampala (UG), RWSN. 24 p.
- RWSN (Rural Water Supply Network, CH). 2012. Rural water supply network (RWSN): strategy 2012 to 2014. Vadian Strasse (CH), RWSN. 27 p.
- Sánchez, I. 2010. Indices o razones financieras (en línea). Caracas, VE. Consultado 23 Feb. 2012. Disponible en http://www.inosanchez.com/files/mda/af/TOPICO03_RAZONES_FINANCIERAS.pdf
- Sandoval, C. 2010. Comportamiento hidrológico y gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México. Tesis Mag. Sc. Turrialba. Turrialba, CR, CATIE. 176 p.
- Sara, J; Katz, T. 1998. Making rural water supply sustainable: report on the impact of project rules. Washington, D.C. (US), World Bank Water and Sanitation Program. 87 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. GRUAS II: Propuesta de Ordenamiento Territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Vol. 4: Acciones estratégicas para el cumplimiento de las metas de conservación de la biodiversidad continental en Costa Rica (2008-2012). San José (CR), Impresos Ruiz. 138 p.
- Stauber, C; Ortiz, G; Loomis, D; Sobsey, M. 2009. A randomized controlled trial of the concrete biosand filter and its impact on diarrheal disease in Bonao, Dominican Republic. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 80(2):286-293.
- Sutton, S. 2004. Preliminary desk study of potential for self supply in Sub-Saharan África. Bromborough (UK), WATERAID, Rural Water Supply Network. 18 p.
- Syme, G; Nancarrow, J; McCreddin, P. 1999. Defining the components of fairness in the allocation of water to environmental and human uses. *Journal of Environmental Management* 57(1):51-70.
- Tehelen, K. 2006. Componentes principales de una propuesta de pago por servicios ambientales para el manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Barbas Quindio, Colombia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 115 p.
- Veas, N. 2011. Gestión del agua para consumo humano en la microcuenca del río Purires, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 148 p.

SEDIMENTACIÓN, PÉRDIDA DE CAPACIDAD Y CALIDAD DEL AGUA EN EL EMBALSE SAN MIGUEL, PROVINCIA MAYABEQUE

SEDIMENTATION, CAPACITY LOSS AND WATER QUALITY IN SAN MIGUEL RESERVOIR, MAYABEQUE PROVINCE

Orlando R. Laiz Averhoff* y Ernesto Flores Valdés*

Resumen

Es presente trabajo es continuación de los estudios realizados por los autores desde el año 2006 en diferentes embalses localizados en 10 provincias del archipiélago Cubano. Este embalse dedicado al abasto a la población fue construido hace 34 años con área de superficie acuática equivalente a 2,57 km² y un volumen proyectado de 15,4962 hm³, posee una cuenca hidrográfica con una extensión de 34,20 km², en la misma se encuentran varios poblados, un conjunto de micropresas (pequeños reservorios) y la actividad antrópica se encuentra principalmente vinculada al desarrollo ganadero por la que casi el 80% del área está cubierta por pastos. En el resto del área existen cultivos menores (vegetales, hortalizas y otros cultivos menores). En el esquema geológico se destaca que la formación Via Blanca ($K_2^{cp-m} vb$) predomina en el área de estudio. En el resultado del estudio de pérdida de capacidad se encontró que en el periodo de uso del embalse se han perdido 2,68% del volumen útil lo que equivale a 0,079% anual. En el análisis de la calidad de las aguas de este embalse se encontró que la misma se valora como bicarbonatada-sódica-cálcica y es apta para el procesamiento de potabilización ya que cumple con la norma cubana NC-93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria". Fueron analizados también los metales pesados Cobre, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc, Cadmio, Cromo y Cobalto observándose que ningún resultado es superior a los límites máximos admisibles de la mencionada norma.

Palabras claves: Sedimentación, calidad del agua, pérdida de capacidad, embalse.

Abstract

This paper is continuation of studies accomplished by the authors since 2006 in different reservoirs located in 10 provinces of the Cuban archipelago. This reservoir dedicated to water supply to population was constructed 34 years ago with an aquatic surface area equivalent to 2,57 km² and design storage capacity 15,4962 hm³, It has a hydrographic basin with an extension of 34,20 km², in which there is here are several towns, small reservoirs (called micropresas) and the anthropic activity found is principally linked to the cattle development, so almost 80 % of the place it is covered for pasture land. In the rest of the area there are minors crops (vegetables and other kind of crops). In the geological scheme Via Blanca formation is predominates in the study area ($K_2^{cp-m} vb$). The results in this study of capability loss in the period of use of the reservoir have lost 2,68% of the useful volume that is equivalent to 0,079% yearly. In the water quality analysis was found that the same one is appraised like bicarbonate-sodium-calcic and it complies with the Cuban Standard for water purification C-93-11:1986 "Sources of supply of water. Quality and sanitary protection". Finally were examined heavy metals Copper, Iron, Plumb, Nickel, Zinc, Cadmium, Chrome and Cobalt but any results was higher than admissible maximum limits of the Cuban standard.

Key words: Sedimentation, water quality, capability loss, reservoir.

INTRODUCCION:

Las preocupaciones ecológicas y ambientales inciden cada día más en el desarrollo sostenible de las sociedades humanas en todo el mundo, las cuales examinan los efectos para la ecología y el medio ambiente, de la erosión de los suelos y de la sedimentación en ríos y embalses, así como los posibles beneficios de los sedimentos aprovechados como recurso (Xiaoqing 2003).

El embalse San Miguel destinado oficialmente para abasto a las poblaciones cercanas, ha sido utilizado durante 34 años con estos fines, aunque no se han entregado volúmenes elevados debido a que la población abastecida es relativamente pequeña. La planta potabilizadora vinculada a este embalse entrega sus aguas a los poblados Tumba Cuatro, Guai-canamar, Castilla y San Miguel de Casanovas.

* Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de La Habana (EIPHH), Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Virtudes #680, Esq. Belascoain, Centro Habana, La Habana, CP-10400, Cuba. Teléfonos: (537) 8642208, 8660922. Telefax: (537 8648604), olaiza@hidraulicos.cu; olaiz2011@gmail.com.

El uso de sus aguas para riego ha sido pobre, considerando que los cultivos varios alcanzan aproximadamente 257 ha (2,57 km²) y el resto son zonas de pasto para el ganado de las empresas pecuarias de Guaicanamar.

El objetivo de este estudio ha sido la determinación de la pérdida de capacidad de este embalse para el uso del agua con destino a la potabilización que será utilizada a partir del año actual, mediante el futuro proyecto de unión de las aguas de este embalse con el embalse La Coca para el suministro de agua a la Planta potabilizadora del este de La Habana conocida como "Planta de Filtro". Incluimos también una síntesis de los resultados de la calidad del agua de este embalse.

METODOLOGÍA

Características Geográficas

El embalse San Miguel forma parte de la cuenca del río Jaruco, se localiza en el municipio Jaruco, entre las coordenadas del cierre de la presa N 364838,6068 - E 393129,1760, N 364683,8319 - E 392824,1789 y las N 364816,6028 - E 392930,6770. La presa colecta las aguas de la subcuenca del río San Miguel afluente del río Jaruco.

La morfología predominante es de la cuenca en el área es una superficie ondulada de pequeñas colinas con alturas que varían entre 120 a 30 msnm.

En las sub cuencas hidrográficas de los arroyos tributarios al embalse San Miguel existen un total de 12 micropresas, construidas en la década del 70, las cuales contribuyen en primer lugar a mantener volúmenes de agua estable en el embalse y además de retener gran parte de los sedimentos (principalmente los gruesos) que se generan por erosión durante las precipitaciones.

La incidencia antrópica en la cuenca hidrográfica es fundamentalmente la ganadería producto de lo cual gran parte del territorio está cubierto por pastos, favoreciendo de esta forma que los procesos erosivos no se manifiesten un incremento en el tiempo como ha ocurrido en otras cuencas hidrográficas de otros embalses en el país. En la tabla 1 se muestran las características morfométricas del embalse San Miguel.

Esquema Geológico:

Las formaciones geológicas fundamentales (Fig. 1) en esta cuenca son las que a continuación se describen a partir del léxico estratigráfico (IGP, 1994):

Formación Vía Blanca. (vb) (K_2^{cp-m} vb)

Litología diagnóstica: Secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas, areniscas, calcarenitas, conglomerados polimícticos, de matriz de arenisca y arcillo-arenosa, margas, calizas detríticas, arcillas y

tufitas. En algunas regiones se desarrollan paquetes olistostrómicos policomponentes.

Edad: Cretácico Superior (Campaniano Superior-Maestrichtiano Inferior).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente inestable, en una cuenca marina de mediana profundidad.

Espesor: Oscila entre 500 y 800 m.

Formación La Trampa. (It) (K_2^{cm-t} It)

Litología diagnóstica: Tobas y lavas de composición dacítica, andesítica y riolítica, conglomerados, gravelitas tobáceas y argilitas.

Edad: Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente batial con actividad volcánica submarina y movimientos verticales intensos.

Espesor: Oscila entre 200 y 300 m.

Formación Chirino. (ch) ($K_1^a - K_2^{cm}$ ch)

Litología diagnóstica: Tobas medias y básicas, litoclásticas a vitroclásticas con lavas en forma de sills y diques de andesitas y andesito-basaltos, calizas, areniscas, limolitas, pedernales y tufitas. Estos depósitos están muy tectonizados y se presentan en forma de escamas tectónicas independientes o incluidos dentro de las serpentinitas.

Edad: Cretácico Inferior (Aptiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano).

Espesor: Mayor de 1000 m.

Formación Peñalver. (pñ) (K_2^m pñ)

Litología diagnóstica: Secuencia clástico-calcárea, que varía desde gravelitas de grano grueso (parte baja) hasta calcilitas de grano muy fino (parte alta). El material clástico es en gran parte carbonatado y organógeno y en menor cantidad ígneo.

En la parte media del corte de esta unidad, en las capas de calcarenitas, en algunas localidades, se encuentran incluidos fragmentos orientados de material carbonoso. Estas inclusiones son bien apreciables en la cantera La Arenera, ubicada a unos 2 km al S del poblado de Santa Ana, provincia de Matanzas. En este corte se puede observar claramente su yacencia discordante sobre la Fm. Vía Blanca.

Edad: Cretácico Superior (Maestrichtiano Superior).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en una cuenca marina subsidente no compensada.

Espesor: Oscila entre 20 y 150 m.

Formación Mercedes. (mcd) (P_1^1 mcd)

Litología diagnóstica: Calizas organógenas, organógeno-fragmentarias, argilitas, areniscas polimícticas.

ticas, margas e intercalaciones de conglomerados polimícticos.

Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en las zonas sublitoral e infralitoral.

Espesor: Oscila entre 100 y 130 m.

Grupo Universidad. (un) (P₂¹⁻² un)

Litología diagnóstica: Margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, calizas organógenas y en algunos de sus cortes presentan conglomerados basales de fragmentos pequeños de matriz areno-arcillosa polimíctica.

Edad: Eoceno Inferior parte alta-Eoceno Medio parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente batial.

Espesor: 50 m, en ocasiones mayor.

Este Grupo está compuesto por dos formaciones a saber:

Formación Príncipe. (pc)

Litología diagnóstica: Calizas organógenas, arcillosas, margas.

Edad: Eoceno Medio parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente marino de aguas profundas, frías, con deslizamientos submarinos que provocaron arrastre de fósiles de aguas marinas neríticas y someras hacia las partes más profundas de la cuenca.

Espesor: No excede los 25 m.

Formación Toledo. (tl)

Litología diagnóstica: Margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, con nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, a veces totalmente silicificadas en pedernal, areniscas polimícticas con un conglomerado basal de pequeños guijarros y matriz areno-arcillosa.

Edad: Eoceno Inferior parte alta.

Ambiente de sedimentación: Son depósitos marinos de cuencas profundas, aguas frías, influenciados por la ocurrencia de deslizamientos submarinos que trasladaron los fósiles de características de aguas someras y neríticas hacia las partes más profundas de la cuenca.

Espesor: Entre 3 y 25 m.

RESULTADOS:

En la tabla 2 se pueden observar los datos de las tablas nivel vs volumen y nivel vs área en el cual se han incluido los valores suministrados por la EARH-

Mayabeque y los calculados por el modelo matemático obtenido, el cual consiste en un polinomio grado 5.

Para el desarrollo de este estudio se localizaron, a través de las oficinas del Complejo Pedroso-Mampostón embalse, sitio donde radica la Empresa de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de la provincia Mayabeque, los datos de las tablas nivel vs volumen y nivel vs área, los que se encuentran señalados en negrita y cursiva, el resto de los valores fueron calculados de acuerdo con el modelo matemático descrito anteriormente. El nivel del cauce calculado en el proyecto original se muestra como 20,14 msnm, el cual es reconocido por el GEARH en sus documentos.

Pérdida de Capacidad:

El embalse fue recorrido en su totalidad para lo cual fue utilizada una lancha y se dispuso de una ecosonda y un GPS el cual fue utilizado a partir de un punto de control y referencia, establecido en un sitio estable de la presa, lo que permitió obtener los datos de profundidad y coordenadas de cada punto registrado.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar la pérdida de volumen producto de la sedimentación que se ha realizado después 34 años de construido el embalse, así como calcular las tablas nivel vs área y nivel vs volumen en concordancia con los datos analizados. En la Tabla 3. Se muestran los resultados obtenidos y su comparación con los datos ofrecidos por la EARH-Mayabeque así como los calculados para completar la información original ofrecida.

En el análisis de los resultados obtenidos encontramos que para determinar las curvas de nivel originales se procedió a escanear un plano del área con una escala 1:10 000 determinando que la curva de nivel mínima observada fue la 22 por lo que es factible que la elevación que indica el nivel del cauce del río no se encuentra en el área de captación del embalse por lo que existe un error en la determinación del área y volumen cero (0) en el nivel 20,14 msnm.

No obstante como estos son los valores registrados por el sistema hidráulico tenemos que proceder a utilizar los mismos, lo cual ocurre por igual con el volumen equivalente al nivel de aguas normales (NAN).

La pérdida de capacidad entre el volumen utilizado como original **15,4962253 hm³**, recalculado para el embalse, destacado en la tabla 3 y el volumen calculado para el nivel de aguas normales, con un área de 2,5703 km², después de efectuar las mediciones batimétricas es 14,8773917 hm³, en la tabla 4 se resume este resultado:

En la Fig. 2 se muestra un plano del embalse con las curvas de nivel después del estudio de pérdida de capacidad mediante el análisis batimétrico del fondo y las profundidades del embalse.

La Fig. 3 muestra las diferencias que existen entre los valores originales del periodo de proyecto del embalse San Miguel y el análisis actual posterior al estudio batimétrico de este embalse efectuado en noviembre de 2012. Las zonas sombreadas tanto en la curva de elevación vs área como en la de elevación vs volumen, indican el área de sedimentación y la pérdida de volumen correspondiente.

En la Fig. 4 se muestran las curvas área vs altura (profundidad) tanto del proyecto original del embalse como del estudio de pérdida de capacidad y se observa la variación entre las áreas y las alturas entre las respectivas curvas, considerando que el área superficial no ha cambiado, lo que no ocurre igual con el volumen.

Este estudio es continuación del trabajo desarrollado por los autores entre 2006-2012 (Laiz y col., 2012), realizado en 10 provincias analizando 15 embalses cuyos resultados fueron 21,9% de pérdida de capacidad total, con un rango entre 9,6 y 37,8%, en un periodo promedio de 32 años de uso, y el rango en el año de estudio fue entre 18 y 41 años. La pérdida anual de capacidad osciló entre 0,285 y 1,145% para un promedio de 0,680%.

La pérdida calculada referida al volumen total en el embalse San Miguel fue de 3,99%, para 34 años de uso y 0,117% como pérdida anual, mostrando en ambos casos valores menores que los alcanzados hasta el momento; considerando que es importante realizar el análisis referido al volumen útil de agua para su uso, se procedió a realizar los cálculos para la pérdida de volumen con un 2,68% para el periodo de uso del embalse (34 años) y 0,079% como pérdida anual. Todo lo cual indica que cada embalse ha sido afectado por la sedimentación en dependencia de las características del uso antrópico de la cuenca hidrográfica correspondiente sin olvidar la geología.

Calidad del Agua:

Las aguas de este embalse son conducidas a una planta potabilizadora y es posible que en el futuro se integre al conjunto de embalses que tributan a la potabilizadora del este de La Habana "Planta de Filtro".

El monitoreo para el análisis de la calidad del agua fue realizado en tres estaciones (Fig. 5) con las coordenadas locales y geográficas:

Los análisis realizados por el laboratorio de la UEB ENAST-La Habana se muestran en la Tabla 5:

Se analizaron las características químicas de las aguas de las diferentes estaciones y su valor medio determinando que las mismas son bicarbonatadas-sódicas según se puede observar en la Fig. 6.

Otros grupo de análisis realizados en las aguas del embalse fueron los elementos minoritarios (metales pesados) producto de la geología del área y del uso actual de sus aguas con destino a la potabilización para el abasto a las poblaciones cercanas y como

parte futura del grupo de reservorios que serán utilizados para completar el abasto a los municipios del este de La Habana. En la tabla 6 se describen los valores de los resultados obtenidos en nueve (9) metales, en ninguno de los cuales se encontró alteración que pueda afectar el uso de las aguas para el abasto a la población.

Otros resultados medidos en todas las estaciones fueron la temperatura y la transparencia, el primero destaca que el conocido proceso de estratificación de la época de precipitaciones se encuentra disminuido producto del proceso de mezcla que ocurre en la época de sequía o invernal, lo cual provoca disminución de la temperatura del agua (Fig. 7).

Para el caso de la transparencia (Fig. 8) permite analizar cómo se encuentra en la actualidad el comportamiento de la masa de agua de acuerdo con la conducta de los sólidos suspendidos y sedimentables, pero sobre todo con desarrollo del fitoplancton (algas). Producto de este parámetro puede considerarse que este embalse se encuentra en un estado trófico equivalente a Oligo-Mesotrófico ya que el valor promedio de la transparencia es de 2,52 m.

La calidad del agua para el abasto a población se analizará a partir de la norma de fuente NC 93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento de agua-Calidad y protección sanitaria" y también se realizará una comparación con la norma NC 827:2012 "Agua potable-Requisitos Sanitarios" (Tabla 7).

Todos los parámetros descritos en ambas Normas Cubanas y sus resultados en el estudio mostraron que no existe afectación en cuanto a la calidad para el uso al cual fueron destinadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La pérdida de capacidad referida al volumen útil en el embalse San Miguel, provincia Mayabeque fue calculada en 2,68% en los 34 años de uso, esto representa el 0,079% anual. La sedimentación se estimó en 18.200 m³año⁻¹. En el análisis del volumen muerto se encontró que este ha disminuido en un 85,7%
- Los procesos erosivos en la cuenca son menores debido a que el cultivo predominante son los pastos producto del desarrollo ganadero, en el área también se han construido un total de 12 micropresas que captan el resto del sedimento el cual se deposita en el vaso de estos embalses, favoreciendo entonces que la sedimentación sea la menor como se ha mostrado en este resultado.
- La calidad del agua referida a los macro-componentes en este embalse está en concordancia con el uso al cual fue destinada.
- Los metales pesados analizados ofrecen seguridad en cuanto a la calidad del agua para el consumo humano, ya que ninguno sobrepasa

sa y ni siquiera alcanza los niveles regulados por las normas NC 93-11:1986 "Fuentes de abastecimiento NC 827:2012 "Agua Potable. Requisitos sanitarios".

Se recomienda continuar el monitoreo de la calidad del agua en el periodo lluvioso considerando el cambio climático que ocurre y su influencia en las características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

IGP,1994. Léxico Estratigráfico. Doc. Digital Descripción de las Formaciones Geológicas.

Laiz, O., E. Flores, A. Portal, E. Arias, T. Fraser, H. Vázquez, B. González. 2012. Pérdida de capacidad, sedimentación, caracterización y uso de sedimentos de embalses. Informe Final 2006-2012. 87pp.

Oficina Nacional de Normalización (NC). 2012. NC-827 "Agua potable-Requisitos sanitarios". 12pp.

Oficina Nacional de Normalización (NC). 1986. NC-93-11 "Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria". 12pp.

Xiaoqing, Yang 2003. Manual on Sediment Management and Measurement. World Meteorological Organization (WMO-948) Operational Hydrology Report No. 47. Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva – Switzerland.

A RAPID ASSESSMENT TOOL FOR INTEGRATED WATERSHED MANAGEMENT: A CASE STUDY FROM LA PLATA RIVER BASIN IN SOUTH AMERICA.

APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA RÁPIDA DE EVALUACIÓN DEL MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS: ESTUDIO DE CASO DESDE LA CUENCA DEL PLATA EN SUR AMÉRICA.

Karim Musálem-Castillejos*, Francisco Jiménez-Otárola** y Morag McDonald*.

Abstract

Environment quality indicators can be inadequate when measuring the short-term impacts of projects and actions within an integrated watershed management approach. Quantifiable changes in environmental indicators often take long periods of time –often at the decade level- and are costly in terms of data collection. The subsequent analysis and interpretation seldom reflect the outcomes of work carried out at organizational, inter-institutional and social levels in the short-term. To address this constraint, an Integrated Watershed Management (IWM) assessment methodology based on data collected through key-informants was trialed in sub basins of the *La Plata* River in South America, and compared to a similar case study carried out in Central America.

We applied the assessment tool to the mboi cae/quiteria watershed in Paraguay, and determined progress towards IWM to be 35 % (seen as a global average). We also conducted a detailed evaluation of environmental quality indicators. Comparison with the Central American case study from 2005 allowed a discussion of the methodology and its suitability in different Latin-American contexts. We propose the use of this assessment methodology, based on key-informants and data triangulation, whenever possible to obtain understanding on how projects within an IWM approach can be evaluated in a standardized manner; in a short time; and with low costs. Not substituting, our proposed rapid assessment is not a replacement for ‘proper’ complementary environmental assessment, but offers a rapid and preliminary appraisal of how projects or processes progress with an IWM approach, especially in rural areas.

Key words: catchment, criteria, indicators, Latin America, Paraguay

Resumen

Los indicadores de calidad ambiental pueden ser insuficientes cuando se miden los impactos obtenidos a corto plazo por proyectos o acciones derivadas de la aplicación del enfoque manejo integrado de cuencas. Los cambios cuantificables en los indicadores ambientales suelen tomar largos periodos de tiempo -a niveles de décadas- y representan altos costos de colección de datos, análisis e interpretación, pocas veces reflejando los esfuerzos realizados a niveles organizacionales, interinstitucionales o sociales en el corto plazo. Para atender esta falta de indicadores, una metodología de evaluación del manejo integrado de cuencas basada en informantes clave fue aplicada en subcuencas de la cuenca del Río de la Plata en Sur América y comparada con un estudio caso similar llevado a cabo en Centroamérica.

Posterior a la aplicación de la herramienta de evaluación, las calificaciones fueron agrupadas e interpretadas para determinar los avances hacia un manejo integral de cuencas, obteniendo 35% (visto como un promedio global) además de un conjunto de indicadores evaluados y analizados separadamente en cuanto a su nivel de avance. La comparación con un estudio de caso realizado en el 2005 permitió la discusión de la metodología y su adaptabilidad en contextos latinoamericanos diferentes. Proponemos el uso de esta herramienta basada en informantes clave, y triangulación de datos siempre que sea posible, para obtener una comprensión de como los proyectos con el enfoque de manejo integrado de cuencas puedan ser evaluados de una manera estandarizada, en corto tiempo relativo. Sin sustituir evaluaciones ambientales “completas”, nuestra herramienta de evaluación rápida ofrece un primer acercamiento de cómo los proyectos y procesos avanzan hacia un manejo integrado especialmente en cuencas rurales.

Key words: cuenca, criterios, indicadores, Latinoamérica, Paraguay

* School of Environment, Natural Resources & Geography, Bangor, UK and Tropical Agricultural Research and Higher Education Center, CATIE, Costa Rica. k.musalem@gmail.com

** Tropical Agricultural Research and Higher Education Center, CATIE, Costa Rica.

INTRODUCTION

Integrated watershed management (IWM) takes, in theory, the sector-based management and study of water to a different level; from a less technocratic to a more holistic, participative, and stakeholder-based approach (Heathcote 2009). However, complex and challenging in the face of political considerations (Blomquist et al. 2005), IWM together with Integrated Water Resources Management (IWRM) still seems to present an opportunity to reach the local potential of societies to use water in a rational and sustainable way (Saravanan et al. 2009; Jewitt 2002). The integrated and systemic vision of a watershed leads mainly to establish processes, rather than specific actions, that can lead to continuous and self-sustained work at a local level. Since the 1990's, this integrated and participatory approach has constituted a promising approach for conserving water, land and biodiversity; whilst simultaneously enhancing local livelihoods and supporting broader sustainable development processes (Dourojeanni et al. 1987; FAO et al. 2006). Projects in Latin America using this approach often address a wide variety of objectives, for example: inter-institutional network strengthening, establishment of watershed decision bodies, specific environmental problems (i.e. floods or landslides), establishing environmental payment schemes, technical training in production, eco-friendly production techniques, water quality monitoring, counseling in management decisions, etc. (FAO, 2006). This wide range of possibilities is explained by the approach itself which "allows" recognized interactions at the watershed level at different sub-system levels (political, social, economic, natural, political, cultural) using a systemic view of the watershed and allowing distinct interpretations, scope, aims and local concerns to be merged with agencies interests and government agendas.

Assessment methods using proper criteria and indicators to evaluate progress towards IWM seem equally challenging and have been the subject of distinct methodological proposals (Musálem-Castillejos et al. 2006a; Imbach 2006; Chaves et al 2007, Shah 2008; Biswas et al. 2012). Some methodologies can have a broad vision of processes occurring at the watershed level, for example at institution level and their networks; while other focus on families and livelihoods. The choice of the methodological approach or tool to be used should depend on the objectives of the study, the availability of information, and the time available to implement it.

The proposed methodology, based on an initial experience and presented here, mainly seeks to obtain information based on key-informants, reducing time and costs and revealing insights of IWM in a short period of time (ranging from two weeks to two months). Although lacking biophysical indicators, it allows the identification of knowledge gaps, and leaves triangulation for later stages and further funding opportunities. We propose this method as a

rapid assessment tool to be applied to rural micro-watersheds, similar to what has been achieved with the Integrated Sustainability Analysis (Chaves, 2011), but with a distinct scope, and allowing for deeper studies to be carried out in further developments.

Developed for a Latin American context, our assessment tool was first trialed in Honduras, Central America (Musálem-Castillejos et al. 2006b). Application at that particular time assessed an evaluation of progress towards IWM linked to the FOCUENCAS program (a project intended to strengthen local capacities for disaster prevention and watershed management). As a second application of this assessment tool, we present the current evaluation of progress towards IWM in a priority watershed of the Yacyreta Dam in Paraguay. Our work is aimed at understanding the progress towards IWM as well as gathering experience on the performance of the assessment method in a different context inside Latin America. Our research focuses on answering two principal questions. What is the level of IWM achieved in our study area? What lessons can be learned from the application of the standard in this specific location?

METHODOLOGY

Study Area

Yacyreta dam and hydro-electricity producing facility is located in the Parana River in South America. It is a state-owned company (Yacyreta Binational Entity, YBE) administered by both Paraguay and Argentina. YBE has developed and delivered different programs regarding environmental and social issues for more than two decades. However, since 2006, it has focused on investing in programs which seek social acceptance by local stakeholders using an IWM approach in priority watersheds. We gathered information that led to the assessment of the IWM level in Mboi-cae/Quiteria river watershed, as well as the local perception by rural stakeholders of environmental and social development programs. Figure 1 shows details of hydrology, elevation, soil taxonomy and geology in the study area.

This study applied an IWM rapid assessment tool in this watershed where there have been natural resource management interventions taken through IWM in the past 5 years. In 2007 a watershed committee was formed with the support of the Environment Secretariat of Paraguay (SEAM), the financial support of the YBE, and the participation of community representatives. The Mboi-cae and Quiteria rivers, which together form the watershed of study, were impacted on a major environmental by the filling of the Yacyreta Dam in 2007 in order to reach full energy producing capacities.

The IWM assessment methodology was designed with the construction of specific criteria and indicators in rural areas. Each of the indicators is stratified into different levels or grades that can be assessed

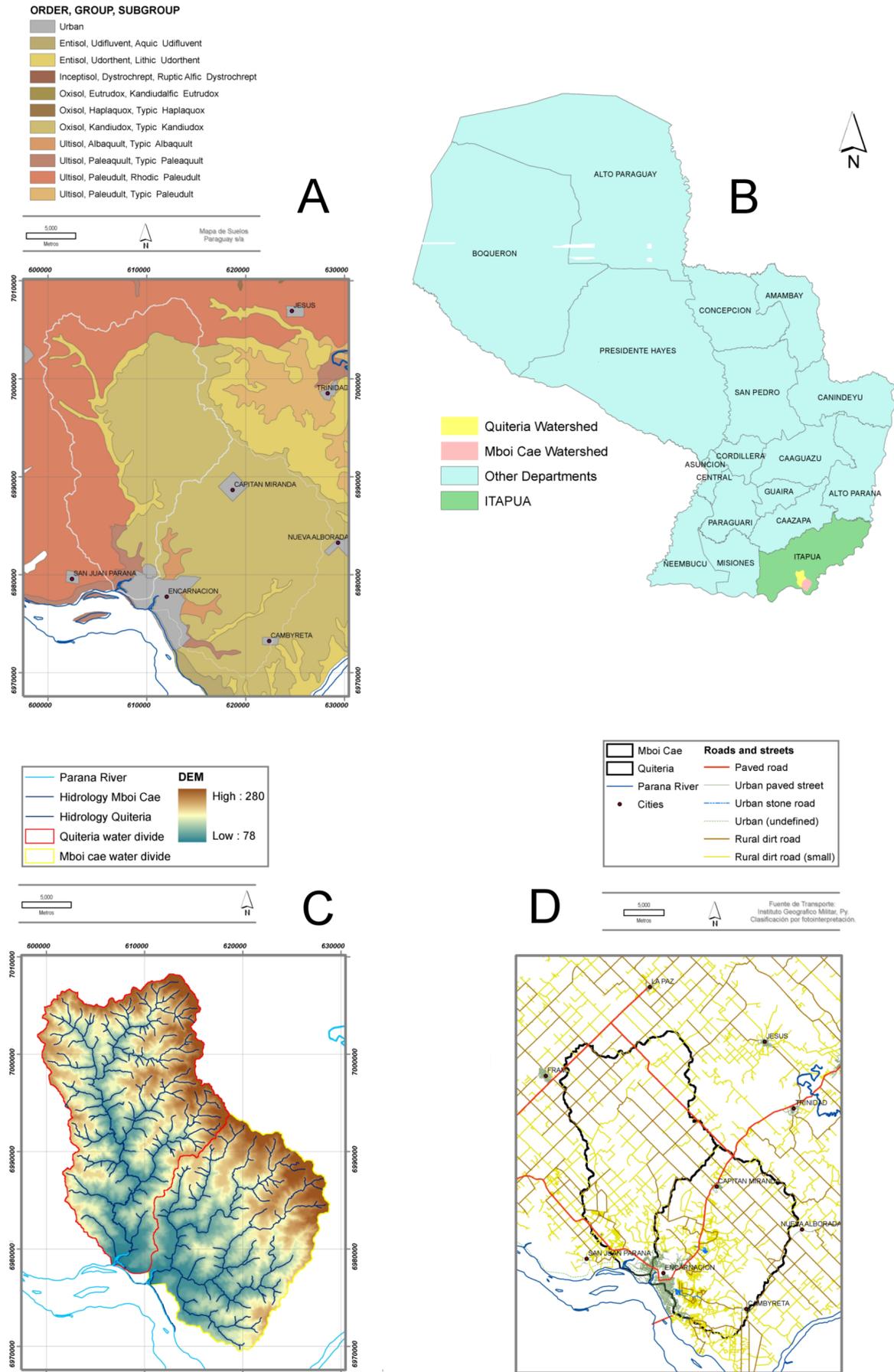


Figure 1. Maps of the Mboi cae / Quiteria watershed: A) soil taxonomy, B) location in Paraguay and Itapua Department, C) digital elevation model (masl) and rivers, and D) roads and main urban areas

by experts or key-informants combined using a snowball sampling approach (Kirby 2000). The approach provides a rapid view offering longitudinal results of the current status of integrated watershed management. Information is collected through key informants, triangulation with existing biophysical data is possible and done when available.

The IWM standard consists of 6 principles, 12 criteria, and 18 indicators (Table 1), as well as parameters for each indicator. Main steps for the application of the IWM standard are as follows:

1. Gathering information from the watershed; characterization and current state of knowledge.
2. Selection of key informants to work in one-on-one workshops where parameters and level of relevance of decision elements are thoroughly discussed and evaluated.
3. Data analysis. Consisting of summarizing different opinions on different indicators as well as results from the workshops and semi-structured interviews.
4. Interpretation of results. An output of a global assessment, as well as detailed information on each of the indicators.

Table 1. List of decision elements part of the standard used in assessing IWM for the Mboi cae /Quiteria watershed in Paraguay (Source: Musalem et al. 2006).

Decision Element	Description
Principle 1.	The watershed as a system
Criterion 1.1.	Integrated functioning and vision of the watershed
Indicator 1.1.1.	Stakeholders and Institutions level of interconnection
Indicator 1.1.2.	Level of convergence
Criterion 1.2.	High, medium and low parts of the watershed considered in the management.
Indicator 1.2.1.	Level of protection of conservation areas of the micro watershed
Principle 2.	The social-environmental and co-development angle
Criterion 2.1.	Capitalization and Investment
Indicator 2.1.1.	Level of capitalization and funding mechanisms: administration and implementation
Criterion 2.2.	Inter-institutionalism. Close relationship among public and private sectors
Indicator 2.2.1.	Level of inter-institutionalism in the micro watershed
Criterion 2.3.	Households (and their organizations) as the main objective of watershed development
Indicator 2.3.1.	Level of consideration of IWM in infrastructure programs.
Indicator 2.3.2.	Level of environmental education
Indicator 2.3.3.	Level of consideration of IWM in health centers.
Indicator 2.3.4.	Level of consideration of IWM in transportation routes
Principle 3.	Use of watersheds for planning and evaluation of impacts.
Criterion 3.1.	Use of watersheds as the planning unit for territorial development
Indicator 3.1.1	Intervention activities planned with a IWM angle.
Principle 4.	Water as the integration resource
Criterion 4.1.	Water quality as a proper watershed management result
Indicator 4.1.1.	Evidence of sediments or pollutants in water streams (inverse scale).
Indicator 4.1.2.	Presence of debris or waste in water streams (inverse scale)
Criterion 4.2.	Water quantity as a result of a good watershed management
Indicator 4.2.1.	Adequate water quantity during every season
Principle 5.	Reduction of vulnerability and risk by natural disasters
Criterion 5.1.	IWM directed to vulnerability reduction
Indicator 5.1.1.	Buffer zones next to rivers
Indicator 5.1.2.	Level of inclusion of risk assessment in watershed development plans.
Indicator 5.1.3.	Recognition of relation between natural resources management and natural disasters
Principle 6.	Production and organization units as intervention units
Criterion 6.1.	Intervention actions according to the kind of practices adopted in production units.
Indicator 6.1.1.	Use of environmental friendly technologies in productive zones within the watershed
Indicator 6.1.2	Level of adoption of conservationist production and eco-enterprises

1. Knowledge of the area and local conditions. Persons who lived and worked in the area who have closeness to local problems, culture, social background, political conditions.
2. Familiar with integrated watershed management concepts, natural resources management in the area from government or non-governmental institutions related to natural resources policies. Scientists or University staff interested or studying in the area in relation to natural resources management, ecology, etc.
3. Decision-makers. Persons who have influence at the local level to make decisions and often represent an institution or group. Persons with a position in government, municipality, NGO's, hydro-electrical power plant managing entity, watershed council, private companies, etc.

Non-random purposive sampling allows interviewing people on the basis that they are likely to be relevant to the subject being studied. The sample reflects judgments made by the researcher that may be open to question, however, it allows the inclusion of significant individuals within the research.

Each indicator was read to eleven key-informants, the time dedicated varied from 2 to up to 5 hours with each one, depending on their level of understanding and willingness to go into deeper explanations. Two

separate questions were discussed; the first aiming to tell us if the key informant found a particular indicator "important" or not, and the second aiming to evaluate the watershed's "performance" in that indicator. We used variants of the question: How important or relevant do you consider this indicator to be for the first inquiry and a straightforward question to evaluate the performance (for example: How do you qualify indicator number "x" ?)

Importance or relevance of the indicator was qualified: very low, low, intermediate, high, and very high and used as a weighted value (Table 2). On the other hand, the watershed's performance or "current status" value was obtained using a scale from zero to three (0, 1, 2, 3) where zero corresponds to the lowest performance and 3 to the highest. -i.e. the existence of a watershed council with well determined capacities, members and financing would correspond to the highest level of IWM. Intermediate values were used on occasions where some conditions were fulfilled but not all of them.

A weighted arithmetic mean, using these two values, was used to obtain qualifications per indicator, and also a global qualification (GQ) for the watershed, per informant and overall qualifications. GQ was interpreted using a discriminatory table (Table 3).

Table 2. Values of relevance for each indicator (used as a weight value).

Relevance of each indicator	Weight
Very high	5
High	4
Intermediate	3
Low	2
Very low	1

Table 3. Discriminatory table for global qualification of the watershed (GQ).

GQ in percentage	Level of reached IWM	Description
0-25	Very Low	The watershed shows none or very few actions taken with the IWM angle.
25-50	Low	The watershed shows few actions with the IWM angle.
50-75	Regular	The watershed shows some actions with the IWM angle, however it is still necessary to improve some aspects.
75 - 100	High	The watershed has many effective actions and conditions related to IWM.

A global qualification combined with the results obtained for each indicator was interpreted and arranged individually or in groups (per criteria or principle). Indicators were regrouped to visualize where the highest

values were obtained, and which have lower qualifications (needing more attention). Values were also related to the initial principles considered for IWM for the watersheds of the Mboi Cae and Quiteria rivers.

RESULTS

Individual qualifications were regrouped and are presented in Tables 4 to 6. Inferiorly qualified indicators obtained the lowest values, and reflect issues that need to be addressed to move forward in the IWM process. Mboi cae / Quiteria watershed obtained most of the indicators in the lower and intermediate levels. After qualifications were reviewed separately by indicator, a key-informant overall qualification of the watershed was calculated. Global Qualification (GQ) was calculated to be 35%, after averaging in-

dividual qualifications by each of the key-informants. This value represents “still very few actions that indicate achieving a high level of integrated watershed management”. Figure 2 shows GQ obtained by key-informant. Qualifications of individual indicators were grouped to their principles (according to Table 1) and graphed (Figure 3). The highest values were obtained in principles “water as the integration resource” and “use of watersheds for planning and evaluation of impacts”.

Table 4. Inferiorly qualified indicators. Aspects that indicate a low performance towards achieving IWM.

Indicator	Description
2.3.2	There is a very low level of environmental education (lowest in the group)
6.1.2	A very low adoption of conservationist production techniques and eco-enterprises.
5.1.2	A very low level of inclusion of risk assessment in watershed developing plans
2.3.4	A very low level of consideration of IWM in transportation routes
1.1.1	Low level of connection between stakeholders and institutions
4.1.2	Presence of debris and waste in water streams
1.1.2	Low level of convergence
1.2.1	Low level of protection of conservation areas
5.1.1	Reduced buffer zones next to rivers (highest qualified)

Table 5. Intermediately qualified indicators. Aspects that indicate intermediate performance locally towards achieving IWM.

Indicator	Description
2.1.1	Some capitalization and funding mechanisms
5.1.3	Some recognition of the relation between natural resources management and natural disasters
4.1.1	Some evidence of sediments and pollutants in water streams
2.3.3	Some level of consideration of IWM in health centers
3.1.1	Intervention activities sometimes consider an IWM angle
6.1.1	There are some environmental friendly techniques used in production areas, but they are not the most common
2.3.1	Intermediate level of consideration of IWM in infrastructure programs
2.2.1	Some first steps have been taken to achieve interinstitutionality in the watersheds.

Table 6. Highly qualified indicators. Aspects that indicate a good performance towards achieving IWM.

Indicator	Description
4.2.1	Adequate water quantity during every season

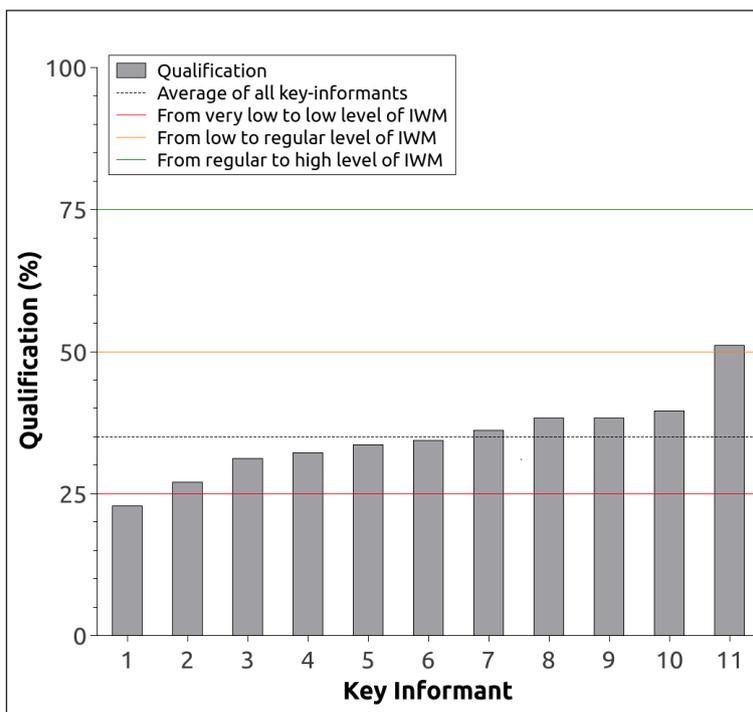


Figure 2. Evaluation of the level of IWM per key informant (sample size = 11) presented in percentage of the Mboi Cae / Quiteria watershed. Dashed line shows average (35%), continuous lines (colors) show discriminatory categories of levels of integrated watershed management according to assessment methodology.

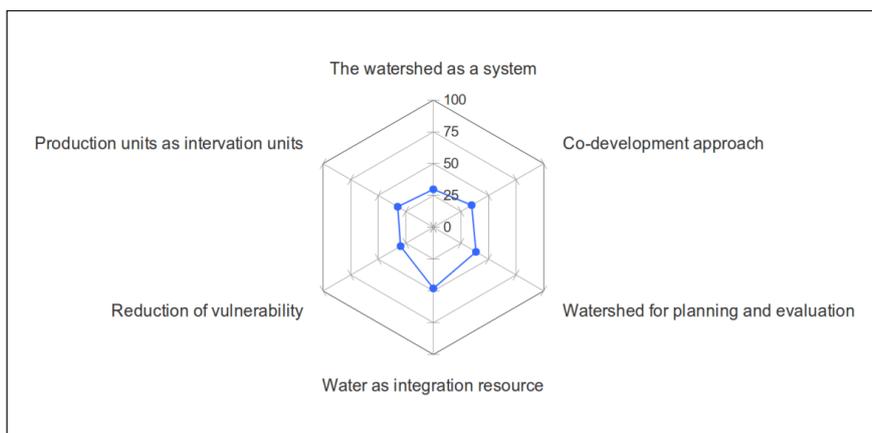


Figure 3. Qualification of each of the IWM principles, shortnames used, not full length principle. Values in percentage of maximum possible qualification for each of the six principles of the IWM assessment methodology.

DISCUSSION

The IWM assessment methodology allows the recognition of some of the principal characteristics of a watershed and the level of integrated management. Since it depends mostly on information given by key-informants, it is also subject to bias, depending on the experience, interests, or access to information of the informants. However, working with key-informants provides information which can be then compared to other data, such as literature review, studies, or other evidence which by triangulation helps to reduce erroneous or tendentious information. This triangulation

is not always possible (i.e. when other information is not available, or when time for comparison is limited). However, an easy way to firstly analyze data given by key informants is to observe the consistency of the answers given and their similarity with the rest of the key-informants (Kirby 2000).

Compared to a previously reported application in Honduras (Musálem-Castillejos et al. 2006b), the studied watershed obtained a 35% global qualification (the Sesesmiles River watershed obtained 58%

in the previous case study), albeit there was a four year time difference in the application of the rapid assessment tool. A possibility opened by this rapid assessment tool is also to transform it into a monitoring tool, which could, after a few years indicate progress as intended by other methodologies (Imbach 2006). Results for IWM assessment can be interpreted by indicator or by global qualification. Each indicator's final qualification can indicate how successful management is in the watershed and specify problem areas and issues. We suggest this rapid assessment tool, combined with other locally available information as appropriate as a first step, but not a substitute of further studies. A global qualification is simply the additive result of individual values obtained by the in-

dicators and it can be misleading if not accompanied with further explanatory information.

The proposed method offers potential in its interpretation of emerging patterns; confirming or countering other studies, as well as inner consistency of data. For example, polarized responses about one subject could indicate or highlight particular misinformation or help prioritize needs for further research. Working with key-informants provides information which can be later compared to other data, such as literature review, studies, or other evidence which by triangulation helps to reduce erroneous or tendentious information. We show two comparisons to test our results obtained from key informants with other sources of information (Table 7).

Table 7. Examples of triangulation of information obtained through key-informants and other sources.

Specific topic	Key Informants response	Compared to	Results and Observations
Protection of rivers, maintenance of vegetation cover along rivers. Buffer areas.	5.1.1. Reduced buffer zones next to rivers 1.2.1 Low level of protection of conservation areas.	GIS measurements show a 24-26 % riparian vegetation or vegetation cover in conservation areas according to State laws. Following methodology by Dose (2009) .	Information is compatible.
Water quality	4.1.1. Intermediate level of pollution in water streams. Some evidence of sediments and pollutants in water streams 4.1.2. Presence of debris and waste in water streams	Studies by other authors Paez (2003) confirm that water quality is unsuitable for any kind of use according to national standards (in lower areas of the watershed)	Information is not completely compatible. Differences possibly due to different perceptions depending of the specific place where key informants live.

CONCLUSION

The IWM assessment methodology involved around one month of field work succeeding in the description of some relevant characteristics of our study area; as well as an estimation of the level of integrated management achieved so far. Further case studies could help explain which are the determining factors influencing the final scores in the IWM assessment. Thus far, it has been used as a tool to understand the degree of progress towards IWM, we believe the method offers a fast but limited view of the level of IWM. The validation of this methodology is an ongoing process that still requires multiple trials and comparisons.

An unexpected outcome of the application of this methodology was that it allowed an “external observer” to become acquainted with actors connected with the IWM process occurring at that particular moment in the watershed. Interviews allowed us to

obtain more qualitative information than initially intended and gave us richer insights of the watershed than can be just “read” from the indicators and the methodology itself. This can be a particular advantage for “newcomers” trying to develop comprehension of the main issues and problems concerning inhabitants of a particular rural watershed.

ACKNOWLEDGEMENTS

We appreciate the funding of Mexico’s National Science and Technology Council (CONACYT) and Yacyreta Binational Entity in Paraguay and Argentina. We are grateful with the members of the Council of the Mboi Cae and Quiteria Rivers, as well as technicians at Yacyreta: Mauricio Perayre, Carlos Basaldua, Luis Hauron, Victoriano Vázquez, Antonio Schapovaloff, Andres Taoka, Viviana Pacheco, Victo-

ria Lopez- Pereira, Juan Estigarribia, Patricia Peralta, and Diosnel Curtido for their help in gathering information of the watersheds and Dr. Jorge Faustino for his invaluable support and ideas.

REFERENCES

- Biswas, S. Vacik H, Swanson M. E., Haque S. M. 2012. Evaluating Integrated Watershed Management using multiple criteria analysis a case study at Chittagong Hill Tracts in Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(5), 2741– 2761.
- Blomquist, W. and Schlager, E., 2005. Political Pitfalls of Integrated Watershed Management. *Society & Natural Resources*, 18(2), 101–117.
- Chaves, H. M. L. and Alipaz, S. 2007. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: The watershed sustainability index. *Water Resources Management* 21: 883-895.
- Chaves, H. M. L. 2011. Integrated Sustainability Analysis of six Latin-American HELP basins in Proceedings of the Second International Symposium on Building Knowledge Bridges for a Sustainable Water Future, Panama, Republic of Panama, Panama Canal Authority (ACP) and UNESCO, 247- 252.
- Dose, E. 2009. Caracterización, evaluación y diagnóstico de los recursos naturales como base para proponer un plan de manejo de los recursos hídricos en la Cuenca del Arroyo Capiibary. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”. Hohenau, Paraguay. 196 p.
- Dourojeanni, A. and Nelson, M., 1987. Integrated Water Resource Management in Latin America and the Caribbean: opportunities and constraints. *Water Science & Technology*, 19(9), 201–210.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations et al., 2006. *The new generation of watershed management programmes and projects: a resource book for practitioners and local decision-makers based on the findings and recommendations of an FAO review*, Food & Agriculture Org.
- Heathcote, I. W., 2009. *Integrated Watershed Management: principles and practice* 2nd ed., John Wiley & Sons.
- Imbach, A., 2006. *Tarjeta de evaluación de cuencas hidrográficas (TECH) y su aplicación piloto a la cuenca del río Coapa*, Chiapas, México: The Nature Conservancy.
- Jewitt, G., 2002. Can integrated water resources management sustain the provision of ecosystem goods and services? *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 27(11–22), 887 – 895.
- Kirby, M., 2000. *Sociology in perspective*, Heinemann.
- Musálem-Castillejos, K. Jiménez, F. Fautino, J. Astorga, Y. 2006a. Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical. Parte 1. Estándar propuesto. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE)*, (48), 10–21.
- Musálem-Castillejos, K. Jiménez, F. Fautino, J. Astorga, Y. 2006b. Certificación del manejo integrado de microcuencas hidrográficas en América Tropical. Parte 2. Estudio de caso en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE)*, (48), 22–28.
- Paez, C. 2003. Calidad de aguas en arroyos urbanos de Encarnación Y. B. E. Ayolas, Paraguay. 64 p.
- Saravanan, V. S., Mc Donald, G. T. & Mollinga, P. P., 2009. Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse. *Natural Resources Forum*, 33(1), 76–86.
- Shah, H., 2008. *An assessment of participatory integrated watershed management in the Hilkot watershed, Mansehra, Pakistan*. Master’s thesis. Universiti Putra Malaysia.

SISTEMA DE GOBERNANZA LOCAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA USO DOMÉSTICO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ASOCIACIONES ADMINISTRADORAS DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS SANITARIOS (ASADAS) DE BUENOS AIRES Y DE SUERRE, ÁREA DE CONSERVACIÓN TORTUGUERO, COSTA RICA

LOCAL WATER GOVERNANCE SYSTEM FOR DOMESTIC USE IN THE GREATER ADMINISTRATIVE ASSOCIATIONS OF RURAL AQUEDUCTS AND SEWERAGE SYSTEMS (ASADAS) AREA OF BUENOS AIRES AND SUERRE, TORTUGUERO CONSERVATIO AREA, COSTA RICA

María Fernanda González Pérez* y Francisco Jiménez*

Resumen

Este estudio analiza el sistema de gobernanza local del agua para uso doméstico en el área de influencia de las ASADAS de Buenos Aires y de Suerre. Mediante observación participante, entrevistas y talleres se identificaron a los actores claves, sus roles y su grado de poder, interés y legitimidad respecto a la temática; se determinaron las relaciones de colaboración y conflicto entre actores y se construyó la red de relaciones sociales existente entre ellos. En los manantiales aprovechados por las ASADAS, se evaluó el cumplimiento de la normativa relacionada con el recurso hídrico (RH) y se determinaron los principales factores por los que hay incumplimiento a nivel comunitario y de la zona protectora (ZP) de los acuíferos de Guácimo y Pococí.

Entre los resultados resalta el alto número de actores relacionados con el tema; en algunos casos, por varios factores, especialmente en el sector público, se observa duplicidad e incumplimiento parcial o total de las funciones asignadas por Ley. Pese a que los actores presentan entre sí más relaciones de colaboración que de conflicto, impera el trabajo individual, lo que dificulta las acciones colectivas y la solución de problemas. Destacan algunos actores con alto compromiso con la gestión del RH. En general, en los manantiales evaluados se cumple la normativa ambiental, sin embargo, a nivel comunitario y de la ZP de los acuíferos, existe incumplimiento por varios factores, aunque la gobernabilidad deficiente, es la más importante. Se proponen estrategias para solucionar problemas detectados.

Palabras claves: actores claves, roles, relaciones sociales, normativa ambiental, agua para consumo humano.

Abstract

This study analyzes the local water governance system for domestic use in the greater ASADAS area of Buenos Aires and Suerre. Through participant observation, interviews, and workshops, key stakeholders, their roles, and degree of power, interest and legitimacy with respect to the matter were identified. Collaboration and conflict relationships were identified between stakeholders; and the social relationship network was built among them. In the springs under exploitation by the ASADAS, the compliance with regulations related to water resources was evaluated and the principal factors relating to their non-compliance at the Guácimo and Pococí aquifers protected zone and at the community level were determined.

The results highlight the high number of stakeholders involved in the matter; in some cases due to various factors; especially in the public sector it is observed duplicity and partial or total non-compliance with the duties allocated by law. Despite the fact that the stakeholders show greater collaboration than conflict relationships; individual work prevails which complicates collective actions and problem-solving. Some stakeholders with high commitment to water resources management stand out. In general, in the springs evaluated the environmental regulation is met, however, there is non-compliance due to various factors at the community level and at the aquifer PZ; although poor governance is the most important one. Strategies are proposed to solve the identified problems

Key words: key stakeholders, roles, social relationships, environmental regulation, drinking water.

INTRODUCCIÓN

La gobernanza es el proceso formal e informal de interacción entre los diferentes actores involucrados con una problemática específica. Un sistema de gobernanza está conformado por reglas, mecanismos y procedimientos formales (leyes, normativa, decretos,

reglamentos, ordenanzas, etc.) e informales (acuerdos verbales y escritos) que configuran un marco operativo dentro del cual los actores se relacionan en interaccionan en un proceso participativo de toma de decisiones de asuntos políticos. Además, gracias

* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170, Teléfono: (506) 85635155, mgonzalezp@catie.ac.cr

a este proceso, los actores (ciudadanos, ONG, instituciones públicas y privadas, etc.) ejercen sus derechos y obligaciones y manifiestan sus acuerdos, desacuerdos y conflictos¹.

Ya específicamente, a nivel hídrico, la gobernanza se refiere a la gama de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos para desarrollar y gestionar este recurso (GWP 2000b ; OECD 2012). Esta gobernanza se alcanza a partir de las propias comunidades quienes, con autonomía, manejan redes de riego, suministran agua, conservan los recursos naturales (RRNN), entre otras actividades (Ruiz y Gentes 2008). Uno de los retos de la gestión del RH es el otorgar mayores espacios (formales e informales) de involucramiento de la población (Lebel *et al.* 2005; Ruiz y Gentes 2008).

El agua es un recurso limitado, solamente el 0,5% del agua en el planeta es agua dulce apta para consumo humano. Pese a su proporción pequeña respecto del agua salada, el principal problema que sufren millones de personas en el mundo no es su escasez, sino su mala gobernanza y gestión (Hinrichser *et al.* 1998; Castro *et al.* 2004; Bustamante y Palacios 2005; Ballesteros 2008; OECD 2011). Tanto la gobernanza como la gestión no son componentes aislados, sino que están vinculados e interrelacionados; en este sentido, la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) requiere de la existencia de una configuración de gobernanza efectiva en una comunidad o sociedad que permita que los procesos, acciones y objetivos relacionados a dicha gestión, se desarrollen con una alta aceptación social y de la forma más eficiente, menos conflictiva y más equitativa posible (Bustamante y Palacios 2005).

Según GWP (2000a), la GIRH está integrada por tres pilares macro: a) sustentabilidad ecológica, b) eficiencia económica y c) equidad social. Cada pilar engloba una serie de elementos interrelacionados e interdependientes entre sí, tales como la presencia de instrumentos de manejo, ambiente propicio, roles institucionales definidos, políticas adecuadas, participación, etc.

El crecimiento demográfico, el rápido proceso de urbanización e industrialización, la expansión de la agricultura, el turismo y la falta de procesos participativos con toma de decisiones conjunta en las sociedades, ejercen una presión cada vez más fuerte sobre el agua; estos fenómenos han provocado grandes cambios en los regímenes hidrológicos, ecosistemas y en la fisonomía de la mayoría de los ríos, lagos y acuíferos del mundo. Debido a esta creciente tensión, la gestión adecuada de este recurso es crucial para la sostenibilidad a largo plazo de las sociedades y el ambiente (Santos *et al.* 2002; Rijsberman 2006; Toze 2006; Pahl *et al.* 2008; Barquero 2009; GWP

e INBO 2009; Butterworth *et al.* 2010; OECD 2011; Leflaive *et al.* 2012; OECD 2012).

Con todos los problemas mencionados, la única solución viable es apuntar hacia una gestión del agua socialmente equitativa y ambientalmente sostenible, donde la participación democrática de los diferentes actores y sectores sea el eje central de su implementación (Castro *et al.* 2004; Zaag 2005). Hay que gestionar el recurso de una manera integral donde el desarrollo esté en función del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP 2000a).

A pesar de su importancia, la gestión del agua es un tema que ha venido siendo abordado recientemente en la, ya que antes se suponía que había suficiente agua para todas las actividades humanas y que los procesos naturales se encargarían de la contaminación (Carballo 2009; GWP e INBO 2009). Fue hasta hace unas décadas que este tema adquirió relevancia en las agendas internacionales. En las conferencias sobre medio ambiente en Dublín y la cumbre de la tierra en Rio de Janeiro (1992) se formularon los principios que sirvieron de base para la elaboración de los conceptos de gestión integral del RH: I) el agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el ambiente; II) el manejo y desarrollo del agua debe basarse en metodologías participativas; III) la mujer tiene un rol central en la provisión, manejo y salvaguarda del agua; y IV) el agua tiene un valor económico en todos los usos consuntivos y debe ser reconocido como un bien económico (ONU 1992).

Desde que inició el debate y ejecución de programas y proyectos de gestión del RH, el tema ha venido ganando importancia en las agendas de los países. Evidencia de lo mencionado es la formulación de los objetivos de Desarrollo del Milenio que plantea (para el año 2015), entre otros temas: a) la reducción a la mitad del porcentaje de personas que carecen de acceso al agua potable y b) la reducción a la mitad del porcentaje de personas que carecen de acceso al saneamiento (ONU 2000). Estas metas significan un gran desafío, ya que la gestión del agua se vuelve cada vez más compleja y contenciosa (GWP e INBO 2009).

A nivel local, una gobernanza fortalecida comprende un conjunto de medidas que van más allá de la aprobación de leyes o la creación de instancias locales (Lebel *et al.* 2005), como el establecimiento de roles claros para los actores (Lebel *et al.* 2005; Ruiz y Gentes 2008; GWP e INBO 2009; OECD 2011; Jiménez 2011b; Leflaive *et al.* 2012; OECD 2012) y el reconocimiento de sus derechos y deberes equitativos sobre los RRNN (Cleaver y Franks 2007; Plummer y Slaymaker 2007; PREVDA y Unión Europea 2008).

La participación (factor primordial) (Cleaver 1998; Syme *et al.* 1999; BID *et al.* 2003; Rogers y Hall 2003; Castro *et al.* 2004; Torres y Rodó 2004; Busta-

¹ Jiménez, F. 2011. Intersectorialidad, gobernanza e institucionalidad en la gestión de cuencas hidrográficas (clase de maestría del curso "Política y gobernanza del ordenamiento de los RRNN"). Turrialba, CR, CATIE.

mante y Palacios 2005; Zaag 2005; Cleaver y Toner 2006; Madrigal y Alpizar 2011; Jiménez 2011b; Arduino *et al.* 2012), la información (Torres y Rodó 2004), el manejo de la complejidad existente, la corresponsabilidad (Torres y Rodó 2004) y la rendición de cuentas (Sara y Katz 1998; Agrawal y Ribot 2000; Torres y Rodó 2004; Gentes 2010; OECD 2011; OECD 2012) son necesarias para legitimar el proceso político y garantizar la eficacia de las decisiones colectivas.

Un buen sistema de gobernanza requiere que la sociedad tenga un cierto nivel de capital social² y de cultura cívica para mejorar la acción colectiva (Torres y Rodó 2004). Los principios que conforman el paradigma de la gobernanza implican la incorporación de aspectos como la planificación, la coordinación, la comunicación, la concertación, la satisfacción de

demandas, la generación de confianza, la inclusión, la priorización y la flexibilidad (Torres y Rodó 2004; Bustamante y Palacios 2005; Jiménez 2011b).

La figura 1 muestra los principales indicadores vinculados a la “buena gobernanza” y gestión del RH que buscan garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Esos factores se deben analizar de manera conjunta, ya que están sistemáticamente interrelacionados; los mismos se describen a continuación:

- **Enfoque de cuenca hidrográfica como unidad de gestión:** si bien la implementación de las políticas nacionales para el uso y protección de los RRHH es eficaz en muchas escalas, las políticas a escala de cuenca, presentan la oportunidad de generar soluciones con un enfoque integral y sistémico y así resol-

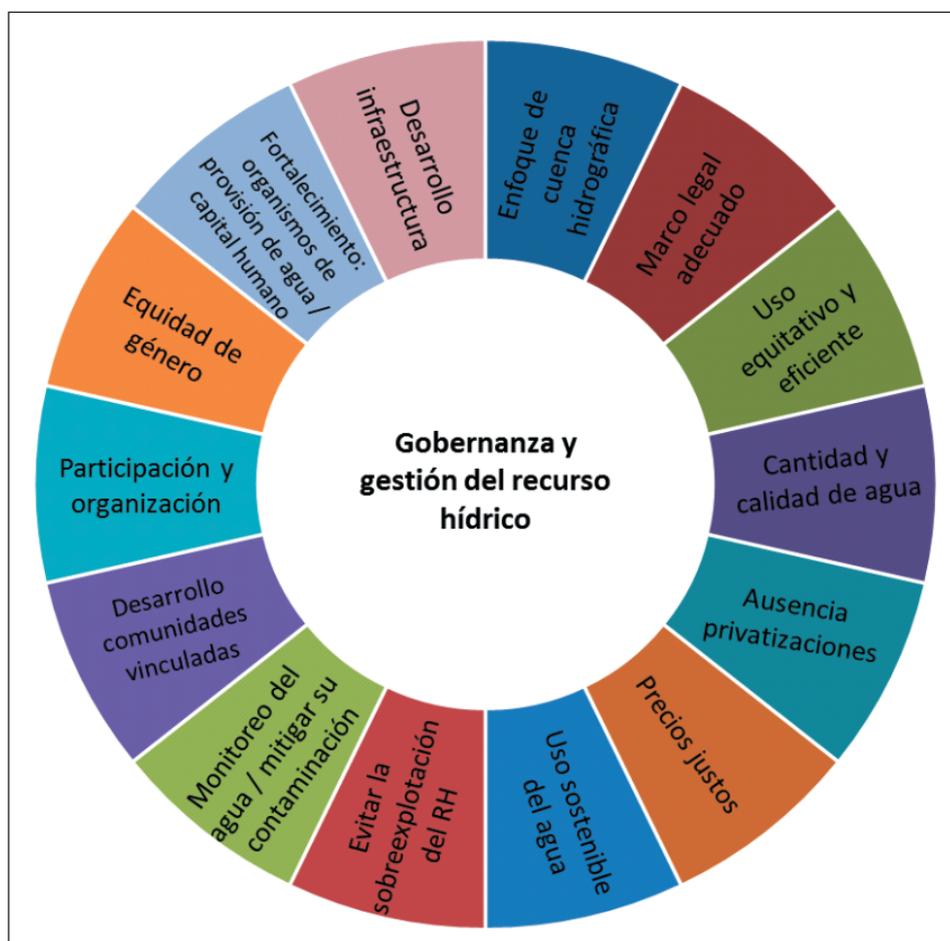


Figura 1. Principales componentes de la gobernanza y gestión del recurso hídrico

2 Capital social: se refiere a las interacciones, conexiones, vínculos y relaciones que mantienen unida a la gente, entre los elementos que conforman un capital social fortalecido se encuentran: confianza mutua, reciprocidad, grupos, identidad colectiva, sentido de un futuro compartido y trabajo en conjunto Gutierrez, M; Emery, M; Fernández, E. 2009. The sustainable livelihoods approach and the community capitals framework: the importance of system - level approaches to community change efforts. . Journal of the Community Development Society 40(2):106-113..

ver controversias aguas arriba y aguas abajo. Este enfoque permite analizar e integrar los diferentes componentes del ciclo hidrológico y el balance hídrico. La relación que existe entre la gestión de los RRHH dentro de un país y la gestión del agua en cuencas se vuelve, de esta manera, dinámica y más sensible a las circunstancias cambiantes, sean estas

naturales, ambientales, sociales o económicas (GWP e INBO 2009). Además, la cuenca como unidad de gestión del RH permite integrar las acciones en cuencas transfronterizas (Jiménez 2011a).

- **Marco legal adecuado:** es fundamental contar con un marco legal claro y detallado que especifique los roles, las responsabilidades, los derechos y las obligaciones de las partes interesadas, los niveles de descentralización y los procesos para la buena gobernabilidad y gobernanza del agua (GWP e INBO 2009; OECD 2011; Leflaive *et al.* 2012; OECD 2012). También hace falta contar con voluntad y liderazgo políticos que asegure el compromiso y responsabilidad de los niveles más altos del gobierno (Rogers y Hall 2003; Minaverry 2008). La legislación hídrica debe ser actualizada para que responda a las necesidades de una sociedad cambiante (CWWA *et al.* 2003). Otro componente relacionado con el marco legal es la creciente complejidad de la gobernanza y gestión del recurso hídrico; así, las políticas y normativas deben ser coherentes y consistentes en su creación y fácilmente entendibles para su aplicación (Huang y Xia 2002; Bustamante y Palacios 2005; Lebel *et al.* 2005; Butterworth *et al.* 2010).
- **Uso equitativo y eficiente:** para lograr que se tome consciencia sobre este tema y evitar el despilfarro de agua, la gestión del RH debe ir acompañada de un proceso de educación y sensibilización a la población (Syme *et al.* 1999; CWWA 2003; Castro *et al.* 2004; Zaag 2005; ONU 2006; Ballesteros 2008; Minaverry 2008; GWP e INBO 2009).
- **Acceso a agua de buena calidad y en cantidad suficiente:** los grandes cambios demográficos, el incremento de superficies destinadas a la agricultura, la deforestación, la urbanización junto con los problemas de creciente contaminación afectan de manera importante la calidad y cantidad de agua dulce disponible en el planeta (CWWA 2003; Rijnsberman 2006; OECD 2012). En muchas de las zonas urbanas de rápido crecimiento, resulta imposible contar con infraestructura necesaria para abastecer a la población de agua de calidad e instalaciones de saneamiento, lo que da lugar a una salud deteriorada y a una baja calidad de vida (BID *et al.* 2003; CWWA 2003; ONU 2006; Leflaive *et al.* 2012).
- **Ausencia de privatizaciones:** tema bastante discutido, ya que para algunos un cierto grado de privatización puede ser deseable, sin embargo, no es evidente que sea conveniente como modelo global para la gestión del RH o para abastecimiento de los servicios relacionados con el agua. Una de las razones del

fracaso de las privatizaciones es la falta de compatibilidad entre los intereses de las corporaciones privadas y el interés público (Castro *et al.* 2004).

Muchas veces, una privatización mal realizada pone en peligro el acceso a agua para toda la población e incluso puede incrementar el nivel de pobreza, los conflictos y el acceso a la toma de decisiones conjunta (Syme *et al.* 1999; BID *et al.* 2003; Page y Bakker 2005; Carballo 2009).

- **Precios justos:** por un lado se debe asegurar que el precio sea accesible a toda la población (el agua como derecho), pero también se debe valorar la posibilidad de la aplicación de tarifa que no solo refleje el precio del servicio, sino del recurso (por ejemplo con pago por servicios ambientales, PSA). El PSA crearía un fondo a invertirse en la conservación y protección zonas estratégicas del RH en la cuenca hidrográfica y también podría evitar gran parte del desperdicio de agua, que muchas veces es favorecido por el precio tan bajo que se paga por su suministro (BID *et al.* 2003; CWWA 2003; ONU 2006; Ballesteros 2008; GWP e INBO 2009; OECD 2011; RWSN 2011; Leflaive *et al.* 2012; OECD 2012; OECD 2013). Además, según Brockington (2011), un buen sistema de PSA concretiza para los políticos el valor ambiental de los servicios ambientales (como el de provisión de agua por parte de los ecosistemas) e incrementa el “sentido común” de proteger la naturaleza.
- **Uso sostenible del recurso hídrico por parte de los diferentes sectores productivos:** la cantidad de agua disponible para los diferentes sectores productivos (agricultura, industria, turismo, energético, etc.) es cada vez más reducida a causa de la degradación de los sistemas hídricos y de la competencia entre ellos por este recurso. Los diferentes sectores (principalmente el agrícola que globalmente es la actividad con mayor consumo de agua) se enfrentan al desafío de reducir el nivel de impactos negativos asociados, básicamente, a la producción de contaminantes y al desperdicio del agua (Hinrichser *et al.* 1998; FAO 2002; BID *et al.* 2003; CWWA *et al.* 2003; Castro *et al.* 2004; ONU 2006; Rijnsberman 2006).
- **Evitar la sobreexplotación del recurso:** mediante estudios de demanda y disponibilidad del agua, es decir, se debe contar con el inventario de los RRHH de la zona para poder planificar y administrar las concesiones correctamente (Huang y Xia 2002; Ballesteros 2008; Minaverry 2008; OECD 2011). En este sentido, BID *et al.* (2003) señalan que la disminución de caudales afecta la producción agrícola, la

generación de electricidad y el abastecimiento de agua potable, por lo que es necesario invertir en medir, cuantificar y tener un mejor conocimiento del recurso en términos de su oferta (actual y proyectada al futuro).

- **Monitoreo del agua y evitar o mitigar su contaminación:** el monitoreo constante es una herramienta básica para establecer las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua a través del tiempo y tomar medidas correctivas si fuera necesario³ (ONU 2006; Astorga 2008). Con el crecimiento demográfico, la contaminación del agua por desechos domésticos e industriales es cada vez mayor. Asimismo, el uso de pesticidas y fertilizantes agrava el problema (Hinrichser et al. 1998; GWP e INBO 2009). Acciones como el correcto manejo de residuos sólidos y un sistema de tratamiento de agua post-uso se deben implementar para evitar una contaminación en cadena, el desequilibrio ecológico del ecosistema acuático y la proliferación de enfermedades (Ballesteros 2008; Franco 2008; Peal et al. 2010; Leflaive et al. 2012).
- **Desarrollo local de las comunidades vinculadas:** el objetivo de cualquier plan de gestión del RH debería ir encaminado y vinculado a la mejora de la calidad de vida de las comunidades y a la satisfacción de sus necesidades básicas para erradicar la pobreza (Castro et al. 2004; Ballesteros 2008; Crow y Sultana 2002).
- **Participación y organización:** uno de los principales componentes de la adecuada gobernanza y gestión del RH es la integración de los diferentes actores y sectores de la población que tengan intereses o que sean afectados por decisiones relacionadas con el agua (Cleaver 1998; Zaag 2005; GWP e INBO 2009; Butterworth et al. 2010; Jones 2011; OECD 2011; Arduino et al. 2012). La participación también ayudará a la organización, al empoderamiento y apropiación de los proyectos hídricos por parte de las comunidades (Cleaver 1998; Syme et al. 1999; Agrawal y Ribot 2000; Castro et al. 2004; Bustamante y Palacios 2005; Cleaver y Toner 2006; Ballesteros 2008; Minaverri 2008; Arduino et al. 2012).
- **Equidad de género:** la necesidad de reconocer a las mujeres su papel particularmente central en la disposición, la gestión y la conservación del agua es cada vez más reconocida a nivel mundial (ONU 2000; Castro et al. 2004). Las mujeres siempre han tenido un rol particular y protagónico, pues en la mayoría de comunidades sin acceso a agua, se encargan de ir a buscar, almacenar y proveer de agua a sus hogares (GWP 2000a; Niño 2004; Franco

2008; Minaverri 2008). Pese a su liderazgo y con ciertas excepciones como las “asociaciones de mujeres” como organismo de provisión de agua (Jones 2011), su participación es nula o escasa en las estructuras de decisión de los sistemas de agua (Cleaver 1998; Franco 2008; Crow y Sultana 2002). Este enfoque, de forma paralela, debería promover la equidad a nivel intergeneracional y étnica (Niño 2004).

- **Fortalecimiento de los organismos de provisión de agua y de su capital humano:** los organismos provisorios de agua deben contar con una administración sólida y fortalecida, donde temas como el autofinanciamiento ayudará a la descentralización de los servicios y a su autonomía (Zaag 2005; Ballesteros 2008). Es importante entonces que los gobiernos incrementen las inversiones en el sector hídrico (en Latinoamérica los presupuestos de los ministerios para el manejo y conservación de los RRNN son los más escasos) que vayan encaminadas al fortalecimiento de estos organismos, a la investigación pura y aplicada y a la utilización de tecnologías sostenibles (Huang y Xia 2002; ONU 2006; Ballesteros 2008).
- **Desarrollo de infraestructura:** contar con una infraestructura que eficientemente conduzca el agua a través a los hogares es clave, por lo tanto, factores como: a) inversión inicial adecuada; b) asesoría técnica y logística en el diseño y construcción; c) capacitación sobre el funcionamiento de las estructuras; y d) mantenimiento y mejoras continuas de las estructuras, son claves para lograr sostenibilidad en el tiempo en la provisión de agua (García y Thomas 2003; Emerton y Bos 2004; Lockwood 2004; Carter 2006; Flores 2009; Carter 2010; Danert y Sutton 2010; Jones 2011; Madrigal y Alpizar 2011; RWSN 2011; Leflaive et al. 2012; RWSN 2012 ; Oecd (Organisation for Economic Co-Operation and Development 2013).

Es importante mencionar que la gestión del RH no es un modelo único, sino que debe adaptarse a las condiciones intrínsecas de cada comunidad (estado de desarrollo social, naturaleza e intensidad de los problemas con el agua, capacidades institucionales, condiciones naturales, grado de organización, cultura, nivel educacional, capital humano, etc.). Es decir, cada sociedad debe construir su propio modelo de gestión que busque las soluciones más viables (a

³ Astorga, Y. 2011. Importancia del monitoreo del agua (clase de maestría: GIRH). Turrialba, CR, CATIE.

nivel social, ambiental, administrativo y económico) y resuelva conflictos (Castro et al. 2004; Zaag 2005; Ballesteros 2008; Minaverry 2008; GWP e INBO 2009).

Dentro de un sistema de “buena gobernanza del agua”, las leyes y políticas relacionadas con ese recurso (a nivel nacional, regional y local) determinan las reglas del juego y establecen cómo los diferentes actores deben desempeñar sus respectivos roles en el aprovechamiento y la gestión del RH (GWP e INBO 2009; RWSN 2011). Las leyes y los reglamentos acompañan al sistema de gobernanza y lo refuerzan (Rogers y Hall 2003).

En Costa Rica, son varias las instituciones que regulan y tienen competencia en la gestión del RH para uso doméstico, entre ellas destacan las ASADAS, asociaciones locales sin fines de lucro encargadas de abastecer de agua a las comunidades rurales (Castro et al. 2004; Lockwood 2004; Arauz 2011; Madrigal y Alpízar 2011; Marín 2011).

En cuanto a la normativa del país, junto con la Ley de Aguas (vigente desde 1942) existen leyes, reglamentos y decretos conexos que regulan aspectos específicos del RH (protección, contaminación, calidad de agua, etc.) con una jerarquía no bien delimitada y con varios entes responsables de su implementación, lo que dificulta su socialización y ejecución (Castro et al. 2004; Ballesteros 2008).

El Área de Conservación Tortuguero (ACTo), ubicado en la región Atlántica de Costa Rica, tiene un total de 27 manantiales con aprovechamiento del RH, 18 de ellos están a cargo de las ASADAS, lo que evidencia el papel protagónico de estas asociaciones en la gestión del agua a nivel local. Además de las ASADAS, existen varios actores locales que juegan diferentes roles, muchos de ellos fundamentales y críticos, a nivel de la gobernanza y gestión del RH en el ACTo; sin embargo, algunos de estos actores aún tienen desempeños poco eficientes⁴.

Por la relevancia del tema y la importancia socioambiental del área de estudio: abundancia de RH, presencia de los acuíferos de Guácimo y Pococí que abastecen de agua a ambos cantones, alta vulnerabilidad a contaminación del agua subterránea, presencia de varios actores comprometidos con la temática y alto crecimiento poblacional (INEC 2002a; Birkel et al. 2006; Fallas 2006; PRODUS 2006; SINAC 2007), esta investigación analiza el sistema de gobernanza hídrica para uso doméstico en el área de influencia de las ASADAS de Buenos Aires y de Suerre ubicadas dentro del ACTo.

METODOLOGÍA

El estudio fue realizado en el área de influencia de las ASADAS de Buenos Aires y de Suerre que están

ubicadas en el distrito de Jiménez, cantón Pococí, provincia de Limón, Costa Rica. Ambas comunidades se encuentran localizadas dentro del ACTo que engloba varias categorías de conservación como la ZP de los acuíferos de Guácimo y Pococí (Decreto No. 17390, Creación zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí, 1986) (Figura 2).

Los objetivos específicos del estudio fueron: a) conocer a los diferentes actores claves y sus roles relacionados con el RH para uso doméstico; b) determinar su perfil y el grado de interacción entre ellos; c) determinar el grado de cumplimiento de la normativa relacionada con el RH en los manantiales aprovechados por las ASADAS en estudio; d) establecer los factores que afectan el cumplimiento a nivel comunitario y de la ZP de los acuíferos; y e) plantear estrategias para mejorar el sistema de gobernanza hídrica local.

La identificación nominal de actores relacionados con la temática se obtuvo mediante informantes claves locales, según la metodología de Chelavier (2010) y Jiménez (2010). A al menos a un representante de cada actor identificado se le realizó una entrevista semiestructurada (Fontana y Frey 1994; Díaz y Ortiz 2005; Geilfus 2005) sobre sus principales funciones (33 personas entrevistadas). Para triangular la información y obtener la respectiva identificación, caracterización y análisis de los actores, desde febrero a junio 2012, se asistió a reuniones mensuales de junta directiva del Consejo Local del Agua (COLAGUA), se utilizó observación participante (Tylor y Bogdan 1987; Geilfus 2005) y se recopiló información secundaria.

El perfil de los actores claves fue determinado por análisis CLIP, el cual determina el grado de poder, interés, legitimidad de cada actor y a sus relaciones (colaboración y conflicto) con otros actores, para después clasificarlo como dominante, fuerte, influyente, inactivo, respetado, vulnerable o marginado (Chevalier 2009; Jiménez 2010).

Se realizó un análisis de redes sociales para encontrar el grado de interacción entre los actores claves; se ubicaron a los actores (nodos) y a su nivel de inserción e involucramiento en la red (uni o bidireccional) para determinar su comportamiento social y las tendencias de la acción grupal (Wasserman y Faust 1994; Catebiel et al. 2006; Clark 2006). Se siguió la metodología sugerida por Velázquez y Aguilar (2005) y Clark (2006); se utilizaron, respectivamente, a los programas UCINET y Net Draw para calcular los indicadores de la red (densidad, centralidad, centralización e intermediación) y para representarla gráficamente.

Para el análisis de la normativa relacionada con el RH se identificaron los artículos relacionados con el RH en la Ley de Aguas (artículos 31a, 148 y 149) y en la Ley Forestal (artículo 33b) y se aplicaron indicadores para evaluar su grado de cumplimiento en los manantiales aprovechados por las ASADAS

⁴ Segleau, J. 2012. Fortalezas y debilidades de la gobernanza local del RH en el ACTo y de los actores que la conforman (entrevista). Guápiles, CR, ASIREA.

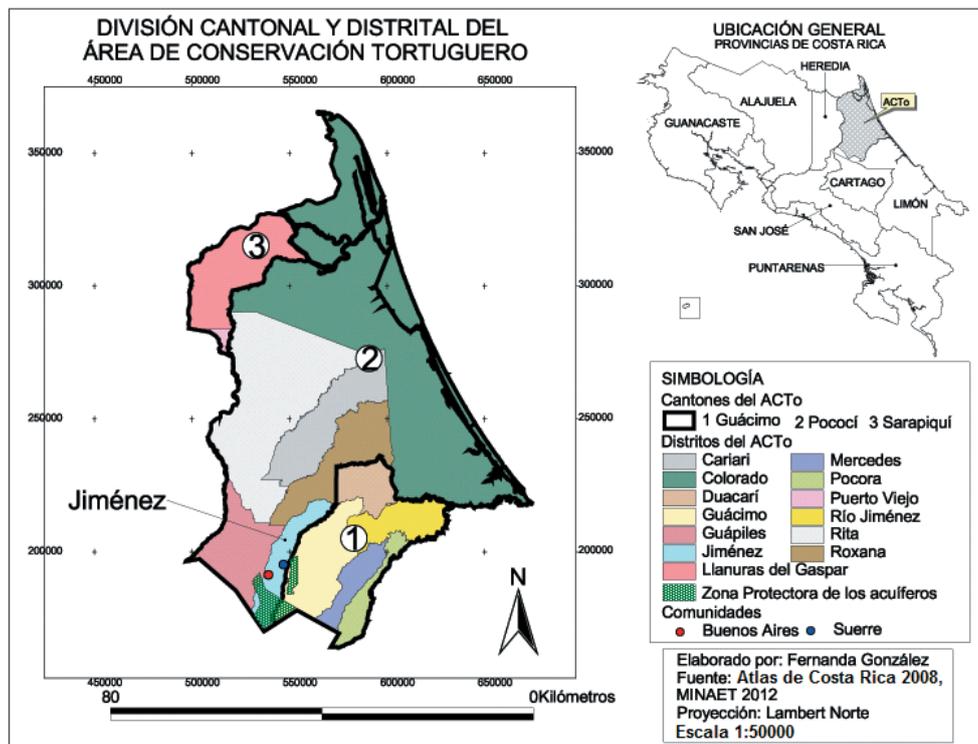


Figura 2. Ubicación del Área de Conservación Tortuguero, la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí y las comunidades donde funcionan las ASADAS en estudio

(Anexo 1) (Ley No. 276, Ley de Aguas, 1942) (Ley No. 757, Ley Forestal, 1996).

Las metodologías para establecer los factores que influyen en incumplimiento de la normativa ambiental a nivel comunitario y de la ZP de los acuíferos fueron: a) observación participante; b) grupos focales (Aigner 2010) con cada ASADA; c) encuestas so-

bre el conocimiento de la población respecto a la normativa (132 en Buenos Aires y 234 en Suerre; 95% de nivel de confianza); d) entrevistas a informantes claves; y d) asistencia a las reuniones de ASADAS y de COLAGUA. Con la información recopilada y retroalimentada por algunos actores se plantearon estrategias para mejorar la gobernanza hídrica local.

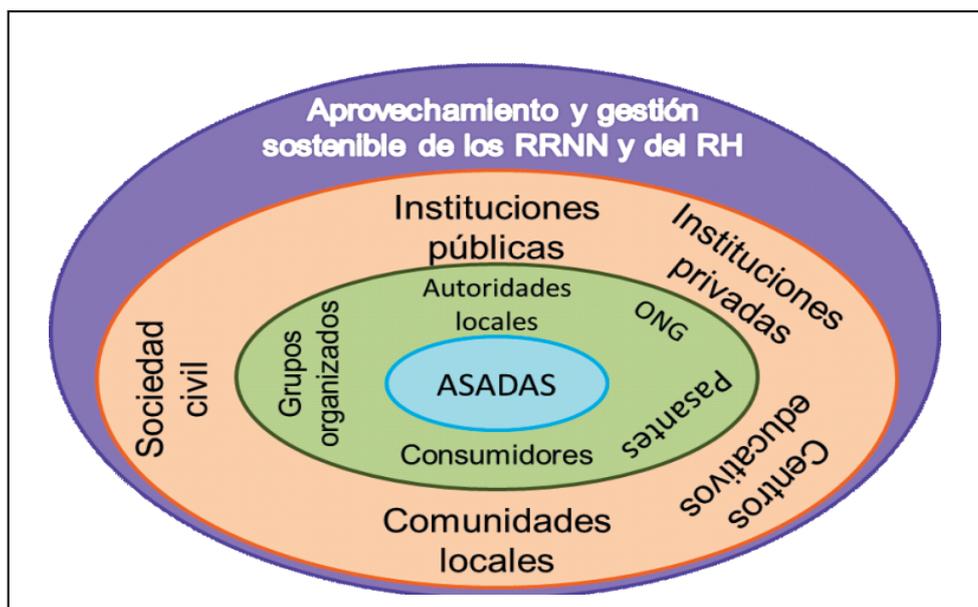


Figura 3. Sistema de gobernanza local hídrica del área de estudio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actores claves del sistema de gobernanza hídrica local para uso doméstico y sus funciones

El sistema de gobernanza hídrica local está formado por varios grupos de actores que tienen diversas

funciones y responsabilidades, pero cuyo objetivo orientador común es el aprovechamiento y gestión sostenible de los RRNN y del RH. En este sistema, las ASADAS juegan un rol protagónico (Figura 3, Cuadro 1).

Cuadro 1. Actores locales y sus principales funciones relacionadas con la gobernanza local hídrica

	Actores		Principales funciones	
Instituciones públicas	MINAET	SINAC: ACTo y Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC)	Protección de los RRNN y al RH en el área respectiva, atender y dar seguimiento a las denuncias ambientales	
		Dirección de Agua	Entrega de concesiones de agua y trámite de denuncias relacionadas con la afectación de cauces	
		Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)	Gestión del pago por servicios ambientales (PSA)	
	Ministerio de Salud (MINSALUD)		Velar por la salud de los pobladores mediante el control de la calidad de agua suministrada por acueductos. Control del manejo de las aguas residuales	
	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA)		Investigar y proteger el RH subterráneo	
	Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)		Proteger los RRNN y el RH con programas específicos	
	Instituto de Desarrollo Agrario (IDA)		Entregar terrenos con manantiales a las ASADAS	
	Dirección Nacional de Desarrollo de la Comunidad (DINADECO)		Promover el desarrollo comunal integral con financiamiento de proyectos, entre ellos, ambientales	
	Junta Portuaria para el Desarrollo de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA)		Asesorar y respaldar la gestión de ASADAS mediante asistencia logística, préstamo de maquinaria pesada, etc.	
	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)		Regular las tarifas de cobro por el agua por parte de las ASADAS	
	AyA		Asesorar, supervisar y monitorear a las ASADAS	
	LNA		Monitorear la calidad de agua de las ASADAS	
	Municipalidad de Pococí		Departamento de gestión ambiental	Como autoridad local, velar por el desarrollo sostenible del cantón
	Asociación de Desarrollo de Pococí (ADEPO)			Promover el desarrollo sostenible del cantón
ONG	Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica (ASIREA)		Respaldar la conservación de los RRNN y RH de la región	
	Fundación Pococí Limpio		Gestión sostenible de los residuos sólidos del cantón	
Centros educativos	Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)		Brindar capacitación técnica al personal de las ASADAS	
	Universidades con influencia local: Universidad de San José, Universidad Latina, Universidad de Costa Rica, Universidad Earth		Fortalecer la investigación pura y aplicada localmente gracias a las tesis, trabajos de graduación o Trabajo Comunal Universitario (TCU) de los estudiantes	
Grupos organizados	COLAGUA		Realizar acciones para proteger el RH local	
	Comisión de los Acuíferos		Proteger a los acuíferos de Guácimo y Pococí	
	ASADA de Buenos Aires y ASADA de Suerre		Dar el servicio de provisión de agua comunitaria	
	Asociaciones de Desarrollo Integral de Buenos Aires (ADIBA) y de Suerre (ADIS)		Promover el desarrollo integral de las comunidades. Apoyar gestión de las ASADAS	

Los resultados mostrados en la zona de estudio muestran que, Costa Rica, como en otros países de AL, presenta un alto número de instituciones, principalmente públicas, que tienen competencias y res-

ponsabilidades con el RH asignadas por ley⁵ (Laboranti y Malinow 1995; Galárraga 2000; Diéguez 1999 en Dourojeanni y Jouravlev 2001; AyA y OPS 2002;

⁵ Astorga, Y. 2011. Situación del RH en Costa Rica (clase de maestría: GIRH). Turrialba, CR, CATIE.

García 2009; Arosemena 2010; Hernández 2010; Radhamés 2010; OECD 2012). Esto ha ocasionado: a) duplicidad de funciones, b) incumplimiento parcial o total de sus responsabilidades y c) deterioro de la red de relaciones entre actores, lo que debilita la gobernanza y gestión del RH.

Una de las principales duplicidades detectadas es en el control de la calidad de agua y supervisión de las ASADAS debido a que hay cuatro instituciones que, de una u otra forma, desempeñan estas funciones (ARESEP, AyA, MINSALUD y LNA). Con el escaso recurso con el que se cuentan estos actores, los esfuerzos no logran cubrir a todas las ASADAS, por lo que deben priorizar acciones según lo que cada institución considera importante.

Otra duplicidad es la atención de denuncias ambientales relacionadas con el RH que es realizada de alguna manera por el ACTo del SINAC, la Dirección de Agua del MINAET, el Municipio de Pococí, el MINSALUD, el SENARA y el AyA, lo que produce desgaste institucional al realizar patrullajes, visitas y elaborar informes similares por parte de cada institución.

La gran cantidad de instituciones que cumplen con otras funciones, además de las relacionadas con el RH, también ha provocado, en algunos casos, desempeños pobres o nulos de las funciones que por ley les compete.

Un ejemplo es el caso del MINSALUD, cuya falta de atención al sector de aguas residuales y a la calidad de agua para consumo humano es notoria en el cantón de Pococí; no existe un sistema de tratamiento de aguas residuales, la mayoría de casas del Cantón cuenta con tanques sépticos, pero para su limpieza no existen empresas que legalmente se dediquen a esta actividad. Por lo tanto, la población contrata, generalmente, empresas ilegales locales; ningún actor local, incluyendo el MINSALUD, realiza control, supervisión o monitoreo de esta actividad.

Las aguas jabonosas son depositadas en las afueras de las viviendas; los sitios de descarga varían desde drenajes a los caminos de las comunidades hasta desfuegos directos a los ríos. En este tema, el MINSALUD ha enfocado sus esfuerzos a un control no preventivo, sino más bien a la atención de denuncias particulares (350 denuncias sobre este tema en el 2011 para el cantón de Pococí)⁶. Según funcionarios de ese Ministerio en la zona de estudio, el 100% de denuncias son atendidas dialogando directamente con el denunciado, sin tener que pasar al proceso legal como tal. Winter y May (2001) indican que la flexibilidad por parte de los “inspectores” es mejor que la coerción o uso de la fuerza para reprimir el incumplimiento de la normativa. Pese a esto, lo único que hace el denunciado es redirigir el agua hacia otro destino, lo que no soluciona el problema de manera definitiva.

Respecto a la calidad de agua de los acueductos (factor relacionado directamente con la salud de los pobladores), en el 2011, el programa “SERSA” del MINSALUD analizó solo tres acueductos del cantón de Pococí. En el 2011 se registraron 6930 casos de diarrea y 81 casos de parasitosis en los diferentes centros de salud y hospitales del cantón de Pococí, pero esta información no está siendo relacionada con la calidad de agua de los diferentes acueductos u otros factores, tales como ausencia de medidas higiénicas en el hogar y manejo adecuado de alimentos; tampoco se la está separando por localidades para determinar focos de infección y realizar un plan de prevención respectivo⁷. Según el censo del año 2001, el cantón de Pococí, contó con una población de 73049 habitantes (INEC 2002a), lo que significa que existieron 0,094 casos de diarrea y 0,001 casos de parasitosis registrados por habitante, tasas que aunque son bajas no son 100% reales ya que no todas las personas que padecen de estas afecciones asisten a un centro de salud para atenderse.

Aunque con monitoreos esporádicos, el LNA genera información de la calidad de agua de todos los sistemas de provisión de agua nacionales que resulta ser fundamental para la salud poblacional y el bienestar de las comunidades (Carter 2006; Astorga 2008; Jones 2011; Madrigal y Alpízar 2011; RWSN 2012). En este país este factor se ve fortalecido gracias a su programa “Sello de Calidad Sanitaria”, mediante el cual a los entes operadores inscritos voluntariamente se les realiza periódicamente análisis físico-químicos gratuitos (en el 2011 se incorporaron 192 ASADAS al programa aunque ninguna corresponde al cantón de Pococí).

Otro actor relevante es el INA que, si bien antes no tuvo mucha acogida en las ASADAS del cantón de Pococí por su inflexibilidad en horarios y temáticas, ahora ofrece una nueva modalidad de cursos que se adapta a las necesidades de estas asociaciones. Es decir, ofrece la oportunidad de capacitar al personal de ASADAS, ya que es importante intentar que los organismos provisosores de agua realicen sus trabajos de manera cada vez más profesional (Imbach y Umaña 2009; Carter 2010; Arauz 2011; Marín 2011; RWSN 2011).

Aunque con poca presencia local en el tema del RH para uso doméstico, la acción de los centros académicos locales es una puerta para brindar asesoría profesional a las comunidades respecto a varios temas, entre ellos la gobernanza y gestión del RH. Esta posibilidad puede fortalecer los procesos ambientales y sociales (Carley 2004), además, resulta ser una alternativa de capacitación de los actores locales, que les permita mejorar su sistema de gobernanza hídrica (Turton et al. 2007; Gentes 2010; OECD 2011).

⁶ Morales, O. 2012. Rol del MINSALUD en el cantón de Pococí (entrevista). Guápiles, CR, MINSALUD.

⁷ Morales, A. 2012. Rol del MINSALUD en el cantón de Pococí (entrevista). Guápiles, CR, MINSALUD.

La gestión participativa y las decisiones acertadas colectivas de ciertos actores como las ASADAS, el COLAGUA, la ADIS, el ADIBA y el ACTo del SINAC en asuntos relacionadas con el RH y su conservación, resultan fundamentales para asegurar la existencia de elementos claves de una buena gobernanza como la participación (en especial de la sociedad civil), la desmonopolización del poder del Estado y la presencia de actores locales (Uphoff 1992; Pierre 1993; Woodhouse 1997; Syme *et al.* 1999; Dourojeanni y Jouravlev 2001; Navarro 2002; Rogers y Hall 2003; Carley 2004; Cleaver y Toner 2006; OECD 2012).

Perfil de los actores claves

La figura 4 y el cuadro 2 muestran el resultado del análisis CLIP. Ocho actores claves (incluyendo a las ASADAS en estudio), según el análisis CLIP, caen dentro de la categoría “dominante”. De estos sobresalen las ONG ASIREA y la Fundación Pococí Limpio, cuyas funciones han llenado de beneficios a las comunidades y al ambiente, varios autores indican que la presencia de este tipo de organizaciones puede enriquecer los sistemas de gobernanza (Uphoff 1992) y fortalecer a las comunidades (Dorado *et al.* 2011; Jones 2011; RWSN 2011) y a las acciones que las instituciones públicas no pueden ejecutar (Uphoff 1992).

Los centros educativos (INA y universidades locales incluyendo a la Universidad la Earth) mostraron un perfil influyente aunque, por las razones ya discutidas anteriormente, se espera un mayor involucramiento en la gobernanza y gestión del RH.

Con relación a las instituciones públicas, al analizar su grado de poder, se evidenció que, con excepción de JAPDEVA, ninguna tiene suficiente presupuesto. Por ejemplo, por esa causa, SENARA se ha centrado en el tema de riego más que en el RH subterráneo (manejan sólo un programa de GIRH pero no tiene acciones en el ACTo)⁸. Otro caso es la DINADECO que, por falta de suficientes fondos, debe priorizar el financiamiento a ciertos proyectos presentados por las asociaciones de desarrollo comunitario del cantón de Pococí⁹.

En algunas ocasiones la falta de presupuesto mencionado no es el resultado de la crisis financiera, sino de la falta de interés en apoyar esfuerzos o programas ambientales; por ejemplo, la Municipalidad de Pococí, históricamente ha priorizado los recursos económicos a otras áreas, principalmente infraestructura. Otro caso similar ocurre en la Dirección de Agua, donde la falta de presupuesto no se debe a la ausencia de recursos económicos, sino a la forma burocrática de gestionarlos, ya que de todo el dinero que se recauda por el canon de aprovechamiento de agua, solo una mínima cantidad le es acreditada¹⁰.

Adicional a la falta de presupuesto, también es evidente que las instituciones públicas no disponen de suficiente personal contratado para ejecutar acciones relacionadas con el RH local. Algunos casos son: a) el Departamento de Gestión Ambiental del Municipio que cuenta con un solo funcionario para múltiples tareas y responsabilidades que debe cumplir; b) la Dirección de Agua, cuyo único funcionario se encarga de todas las inspecciones de denuncias ambientales de toda la región Huetar-Atlántica; c) el ACTo cuyos cinco funcionarios vigilan y gestionan todas las denuncias ambientales relacionadas con la Ley Forestal en el área; d) el MINSALUD que no cuenta con funcionarios que ejecuten programas o proyectos relacionados con el RH de forma exclusiva; e) la Dirección de la Región Huetar-Atlántica del AyA cuyos tres funcionarios tienen que dar abasto a las necesidades de todas las ASADAS de esa región; y f) el LNA cuyos dos funcionarios toman todas las muestras a nivel nacional de los acueductos rurales. Además, estas instituciones presentan un insuficiente sistema de transporte y/o equipos, que les impide agilizar y cumplir con sus actividades.

Toda la situación descrita es preocupante, ya que la presencia de tantas instituciones públicas con incidencia local se ve afectada por la falta de interés y de movilización de fondos suficientes, que les permita satisfacer con rapidez, al menos las necesidades más urgentes de las comunidades. En estos casos hace falta que las instituciones asuman a cabalidad sus responsabilidades en beneficio de la sociedad (Rogers y Hall 2003; Marín 2011).

La realidad descrita sobre el papel del sector público en la gobernanza del RH es un común denominador en AL, donde la falta de financiamiento es su principal debilidad (Dourojeanni *et al.* 2002; García 2009; OECD 2011; Leflaive *et al.* 2012; OECD 2012), aunque Uphoff (1992) afirma que, el sector público, aunque suele ser más lento y rígido que otras instituciones, por lo general, tienen mayor capacidad de movilización de fondos que otras instituciones.

Pese a la situación económica descrita que afrontan los actores, solamente dos actores (ADIS y ADEPO) figuran en las categorías más bajas de “marginado” e “inactivo”, respectivamente, lo que demuestra que casi todos ellos están mediana o fuertemente involucrados en la gobernanza y gestión del RH, sea por su poder (influencia política o acceso a información), interés y/o legitimidad altos. Todo esto muestra que existen esfuerzos importantes en los actores para involucrarse y ayudar a la gestión del RH. Este escenario, como lo asegura Uphoff (1992), resulta ser positivo, ya que aunque las instituciones locales no siempre son del todo eficientes, de seguro lo son más que cúpulas de poder centralizadas, que no conocen la realidad y urgencia de los problemas a solucionar localmente.

⁸ Agudelo, C. 2012. Rol del SENARA en la gestión del RH (entrevista). San José, SENARA, CR.

⁹ Rodríguez, S. 2012. Rol de DINADECO en la gestión del RH (entrevista). Guápiles, DINADECO, CR.

¹⁰ Campos, I. 2012. Gestión de denuncias por afectación de cauces (entrevista). San José, Dirección de Agua, CR.

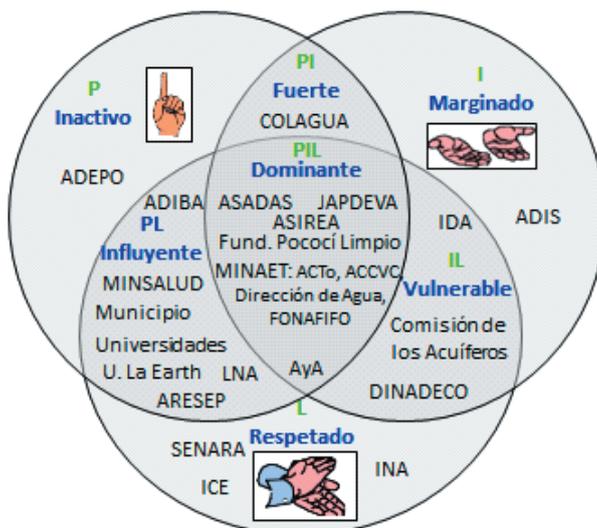


Figura 4. Actores claves del área de estudio y sus categorías, según el análisis CLIP

Cuadro 2. Poder, interés y legitimidad y categorización de los actores, según el análisis CLIP

Actores	Poder	Interés	Legitimidad	Categoría
MINAET	Alto	Alto	Alta	Dominante
MINSALUD	Alto	Medio	Baja	Influyente
SENARA	Bajo	Bajo	Media	Respetado
ICE	Bajo	Bajo	Media	Respetado
IDA	Bajo	Medio	Media	Vulnerable
DINADECO	Bajo	Medio	Alta	Vulnerable
JAPDEVA	Alto	Alto	Alta	Dominante
ARESEP	Alto	Medio	Media	Influyente
AyA	Alto	Medio	Alta	Dominante
LNA	Medio	Bajo	Alta	Influyente
Municipio de Pococí	Alto	Bajo	Alta	Influyente
ADEPO	Medio	Bajo	Baja	Inactivo
ASIREA	Medio	Alto	Alta	Dominante
Fundación Pococí Limpio	Medio	Alto	Alta	Dominante
INA	Bajo	Bajo	Media	Respetado
Universidades locales	Alto	Bajo	Media	Influyente
Universidad la Earth	Alto	Bajo	Alta	Influyente
COLAGUA	Alto	Alto	Media	Fuerte
Comisión de los Acuíferos	Bajo	Alto	Alta	Vulnerable
ASADAS	Alto	Alto	Alto	Dominante
ADIS	Bajo	Medio	Bajo	Marginado
ADIBA	Medio	Bajo	Alta	Influyente

Redes de actores y su grado de interacción

La figura 5 muestra la red de relaciones sociales de la gobernanza y gestión del RH entre actores. Una red de interacción sólida entre actores es un signo de buena gobernanza (Pierre 1993; Mayntz 2001; Na-

varro 2002; Rogers y Hall 2003; García 2009; OECD 2012; OECD 2013); ningún actor por sí solo, como se evidenció antes, tiene la capacidad (administrativa, operativa y económica) para solucionar los problemas complejos de la sociedad (Pierre 1993; Navarro 2002).

Las ASADAS de Suerre y de Buenos Aires mantienen relaciones bilaterales con el AyA. Los acercamientos son cada vez más frecuentes, entre otras cosas, por la necesidad de estas asociaciones de formalizar su gestión y por la intención del AyA de establecer vínculos y monitorear mejor a las ASADAS. El AyA abrió una oficina móvil que circula en cada ciudad principal del Cantón, generando gran satisfacción, ya que según Carley (2004): “Los ciudadanos quieren un portal de acceso al gobierno local”. En este sentido y acorde con Marín (2011), es importante resaltar la voluntad del AyA por mantener relaciones con casi todos los actores de la red, muchas de esas relaciones son de doble vía. Las ASADAS también mantienen relaciones bilaterales con el SINAC y la Municipalidad respecto al tema de cumplimiento de las leyes ambientales y de urbanización ordenada. Pese a que las ASADAS muestran un alto número de relaciones con otros actores y al igual que lo analizado en casos similares (Marín 2011; Arduino *et al.* 2012), no existen lazos de colaboración entre ellas ni con otras ASADAS de la región. Esto impide el intercambio de experiencias exitosas y de información entre organismos provisoros de agua, lo que ayuda a replicar las buenas prácticas y a trabajar en equipo (Carter 2010; Arauz 2011; RWSN 2012).

Las organizaciones en pro del ambiente (las ASADAS en estudio, ASIREA, SINAC, Fundación Pococí Limpio, MINSALUD, Fundación Limpio, COLAGUA, Municipio) también mantienen relaciones bilaterales destacadas entre sí, que han

permitido el desarrollo de actividades y proyectos ambientales conjuntos, tales como la feria ambiental anual que realiza ASIREA. Este resultado concuerda con Uphoff (1992) al mencionar que: “el hecho de que la gente se conozca entre sí, crea oportunidades para acciones colectivas y asistencia mutua para movilizar y manejar recursos”. Según Cortner y Moote (1994), la toma de decisiones colaborativas, en especial entre sectores público y ONG, es un factor fundamental para lograr un adecuado manejo del RH. Varios autores (Emery *et al.* 2006; Flores 2009; RWSN 2011; Theesfeld 2011) mencionan que contar con una red social fortalecida es una fuente de poder que mejora el capital social comunitario y permite compartir información importante.

Las relaciones encontradas por parte de JAPDEVA, Dirección de Agua, INA y LNA son siempre relaciones unilaterales de salida, ya que estas instituciones se encargan de prestar sus servicios a los actores de la red (como a las ASADAS en estudio) sin que la colaboración o información por parte de los “actores beneficiarios” regrese en algún sentido.

Este análisis también encontró más relaciones de colaboración que de conflicto entre actores (Cuadro 3). Aunque no es el común denominador, hay relaciones importantes de colaboración entre ciertos actores que dirigen a cubrir variedad de ejes temáticos, mientras que las de conflicto obedecen, principalmente, a la falta de efectividad de las autoridades locales.

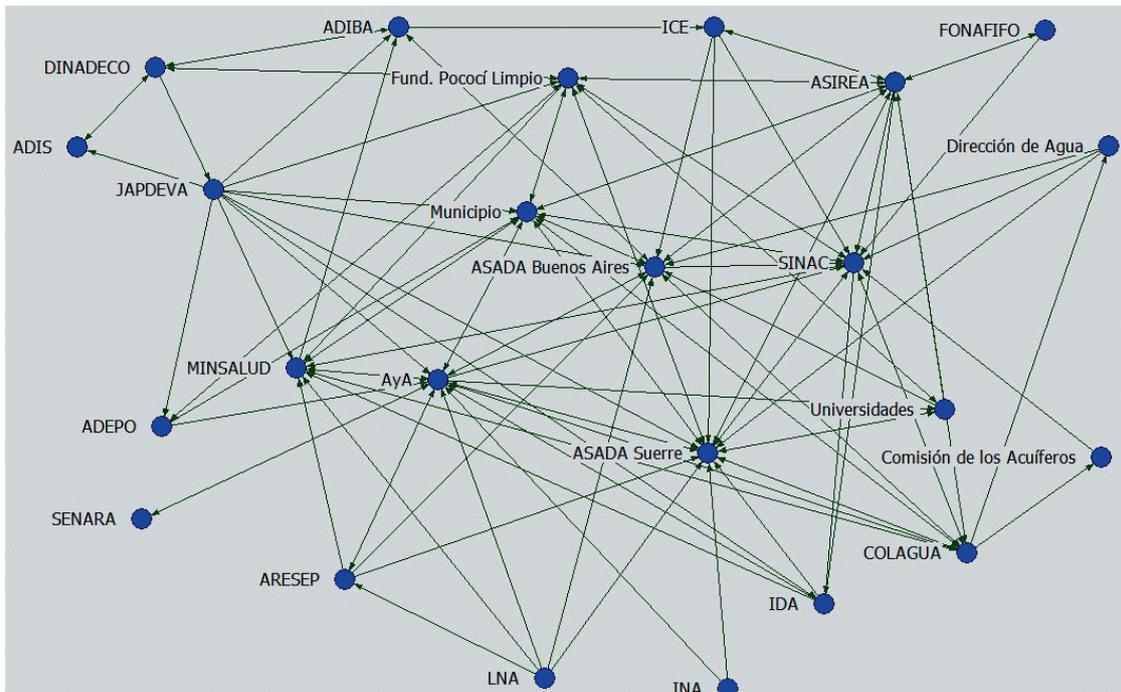


Figura 5. Red social de actores claves relacionados con el recurso hídrico de uso doméstico

Cuadro 3. Principales ejes temáticos de colaboración o conflicto entre los actores locales

Colaboración	Conflicto
Apoyo logístico; capacitación y asesoría técnica	Falta de capacidad institucional de las autoridades públicas locales
Realización de eventos (ferias ambientales, foros, etc.)	
Monitoreo, control y conservación de áreas protegidas y de los RRNN (como recurso forestal y RH)	Sistema ineficaz, lento y burocrático de gestión de denuncias
Asistencia a eventos o reuniones	Crecimiento urbanístico desordenado por falta de aprobación del plan regulador del cantón de Pococí y por electrificación (ICE) y entrega de agua (AyA) en sectores indebidos
Entrega de fondos, equipos y materiales	
Monitoreo del agua de los acueductos	
Gestión de denuncias	
Educación ambiental, reciclaje y reforestación	

Caracterización de la red de actores

Los datos de los resultados de los indicadores evaluados respecto de la red de interacción entre actores se muestran en el cuadro 5.

- Densidad de actores:** la densidad indica el grado de conectividad en la red de los actores (Velázquez y Aguilar 2005). La densidad de toda la red es de 20,8% lo que muestra una baja conectividad general existente entre la totalidad de actores; existen más relaciones posibles que relaciones existentes entre ellos. Esto se debe a que muchos trabajan en la gestión del RH, pero lo hacen de manera aislada y, muchas veces, sin compartir la información generada.

La conectividad está gobernada por pocos actores que manejan casi todas las relaciones existentes de la red. Como se mostró anteriormente, los actores con mayor densidad dentro de la red son el AyA, la ASADA de Suerre y el Municipio de Pococí (Departamento de Gestión Ambiental) con densidades iguales o superiores al 40%. Para la ASADA de Suerre, esta alta conectividad ha sido un pilar fundamental que ha contribuido a su éxito en la gestión del RH.

Otro actor con muchas conexiones es el COLAGUA que, a pesar de su gestión reciente (inicios del año 2012), posee mayor densidad de relaciones (32,6%) que otras instituciones que han operado por mucho más tiempo; este resultado manifiesta la importancia del papel que está desempeñando este Consejo a nivel local, buscando soluciones a la problemática relacionada con el RH, mediante coordinación con varias instituciones.

Los actores más aislados o con menor densidad de conexiones son el SENARA y el INA (4,3%) que, como ya se ha mencionado, tienen pocas relaciones con otros actores.

El resultado de densidad es un tanto similar a algunos estudios realizados en AL, donde

predomina, con relación a la gobernanza y gestión del RH, baja o muy baja densidad de relaciones entre actores, lo cual se manifiesta en la falta de coordinación y comunicación interinstitucional (García 2009; Arosemena 2010; Gentes 2010; Radhamés 2010).

La baja cantidad de intercambios resulta ser una de las principales y más fuertes debilidades del sistema de gobernanza local; donde el llamado por Pierre (1993) “modelo doble sentido” no tiene mucho peso, ya que imperan las relaciones de “un solo sentido”. La falta de acciones colectivas entre actores no se debe a lo que Hernández (2010) llama: “lucha constante de intereses entre actores” sino más bien a su falta de coordinación y trabajo en equipo.

- Centralidad de actores:** este indicador muestra el número de actores a los cuales un actor está directamente unido (Velázquez y Aguilar 2005). Al igual que en otros estudios sobre gobernanza y gestión del RH donde predomina un actor o unos pocos de los restantes de la red (Arosemena 2010; Radhamés 2010); en este estudio, el actor que presenta mayor cantidad de relaciones de salida o el que está directamente unido con más actores de la red es la JAPDEVA (43,5%) lo que es una muestra del compromiso que tiene esta institución en la gestión del RH para uso doméstico (tema ya abordado con el análisis CLIP).

Los siguientes actores con mayor centralidad por relaciones de salida son el COLAGUA y el AyA (39,1%) que son instituciones que, por todas las razones ya mencionadas, tienen mucha influencia y están colaborando fuertemente en la temática de este estudio con el resto de actores de la red. Los actores con el menor grado de centralidad de relaciones de salida son SENARA, la Comisión de los Acuíferos y ADIS (4,3%) que colaboran muy poco con otros actores de la red por su baja influencia local, inactividad y/o aislamiento en sus funciones.

Cuadro 5. Indicadores de la red social de actores

Red / Actores	Índice de densidad	Centralidad				Intermediación	Grado de centralización de conexiones de entrada: 42%
		Relaciones de entrada		Relaciones de salida			
	%	#	%	#	%	%	
Red	20,8%	-				13,24	
ADEPO	10,9%	2	8,7	3	13,0	0,15	
ADIBA	15,2%	4	17,4	3	13,0	4,91	
ADIS	6,5%	2	8,7	1	4,4	0,07	
ARESEP	13,0%	2	8,7	4	17,4	0,00	
ASADA Buenos Aires	37,0%	11	47,8	6	26,1	9,03	
ASADA de Suerre	45,7%	14	60,9	7	30,4	11,75	
ASIREA	37,0%	9	39,1	8	34,8	11,22	
AyA	45,7%	12	52,2	9	39,1	17,73	
COLAGUA	32,6%	6	26,1	9	39,1	10,13	
Comisión de los Acuíferos	4,4%	1	4,4	1	4,4	0,00	
DINADECO	15,2%	3	13,0	4	17,4	12,99	
Dirección de Agua	8,7%	1	4,4	3	13,0	0,00	
FONAFIFO	6,5%	1	4,4	2	8,7	0,00	
Fundación Pococí Limpio	34,8%	8	34,8	8	34,8	16,93	
ICE	13,0%	2	8,7	4	17,4	0,65	
IDA	13,0%	2	8,7	4	17,4	0,61	
INA	4,4%	0	0,0	2	8,7	0,00	
JAPDEVA	23,9%	1	4,4	10	43,5	3,29	
LNA	10,9%	0	0,0	5	21,7	0,00	
MINSALUD	26,1%	9	39,1	3	13,0	3,39	
Municipio de Pococí	39,1%	10	43,5	8	34,8	5,52	
SENARA	4,4%	1	4,4	1	4,4	0,00	
SINAC: ACTo y ACCVC	37,0%	11	47,8	6	26,1	11,88	
Universidades locales	15,2%	3	13,0	4	17,4	0,73	

Con relación a la centralidad por relaciones de entrada, el actor que presenta mayor cantidad de colaboración por parte de la mayoría de actores de la red es la ASADA de Suerre con el 60,9% lo que ha provocado, entre otras cosas, que sea una Asociación fortalecida y respaldada. Destaca también la alta colaboración que recibe el AyA (52,2%) por parte de varios actores locales. El actor con menor centralidad por relaciones de entrada es el INA que no recibe colaboración de ningún actor de la red.

- **Centralización de actores:** la centralización es una condición especial en la que un actor ejerce un papel claramente central al estar conectado con los demás actores, los cuales necesitan pasar por él para conectarse entre ellos (Velázquez y Aguilar 2005). El grado de centralización de la red respecto de las conexiones de entrada es relativamente alto (41,8%), lo que demuestra que existen unos

pocos actores llamados también “centrales” que gobiernan la casi totalidad de relaciones de entrada, como es el caso de la ASADA de Suerre.

Por el contrario, el grado de centralización de las conexiones de salida es bajo (23,6%), lo que indica que la colaboración por parte de los actores de la red no está tan centralizada; es decir, el flujo de información no tiene una forma de estrella, lo que resulta positivo, ya que las redes con la forma mencionada son muy vulnerables por la fuerte dependencia de un solo actor (Orellana *et al.* 2010).

- **Intermediación entre actores:** los actores con mayor grado de intermediación son el AyA (17,7%) y la Fundación Pococí Limpio (16,9%); estos actores son llamados también “actores puente”, ya que pueden servir como mediadores en la canalización de información

entre otros actores que no están conectados entre sí (Velázquez y Aguilar 2005).

Es preocupante determinar que la municipalidad y el MINSALUD tengan un grado de intermediación bajo (5,6%; 3,4%, respectivamente), ya que estos, como autoridades locales, deberían ser los entes articuladores de las instituciones locales relacionadas con la gobernanza y gestión del RH para uso doméstico. Además, este Ministerio debería estar conectado y trabajando en conjunto con el resto de actores locales en el tema específico de manejo y vigilancia del tema de aguas residuales y agua potable para la salud de los pobladores.

Existen varios actores que tienen grado de intermediación nula (FONAFIFO, SENARA, Comisión de los Acuíferos, Dirección de Agua, ARESEP, INA y LNA) lo que evidencia la importancia de que los actores con mayor grado de intermediación ayuden a canalizar la información que no llega a estos actores que están aislados. Debido a los resultados mencionados el nivel de intermediación de toda la red es bajo (13,2%), lo que indica que hay muy pocos "actores puente".

Cumplimiento de la normativa relacionada con el recurso hídrico cada área de influencia de las ASADAS en estudio

En la ASADA de Buenos Aires, todos los indicadores evaluados alrededor de su manantial en aprovechamiento (radio de 200 metros) indicaron que existe cumplimiento de la normativa ambiental relacionada con el RH, ya que todos mostraron color "blanco" en el semáforo indicativo (véase Anexo 1). En el manantial aprovechado de la ASADA de Suerre, dos de las cuatro normativas evaluadas con sus respectivos indicadores mostraron un pequeño grado de incumplimiento de la normativa (color "verde" para indicador del artículo 31a de la Ley de Aguas y color "amarillo" para el indicador del artículo 149 de la misma ley; véase Anexo 1), debido a un terreno privado deforestado ubicado frente al terreno que contiene al manantial en aprovechamiento que está muy bien conservado.

Según lo mencionado, en ambos casos, en general, las ASADAS han hecho respetar la normativa que protege a los manantiales, factor considerado como importante en la gestión del RH y en el buen desempeño de un organismo provisor de agua (Carter 2010; Madrigal y Alpízar 2011).

Factores determinantes del cumplimiento de la normativa relacionada con el recurso hídrico a nivel comunitario y de la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí

Existen seis factores fundamentales que ocasionan incumplimiento de la normativa relacionada con el RH a nivel comunitario y de la ZP de los acuíferos de Guácimo y Pococí. De estos factores, cinco se deben a una falta de gobernabilidad, entendiéndose esta, según Oriol (2003), como la existencia de reglas del juego claras y de mecanismos eficientes de implementación por parte de las autoridades estatales:

- **Ordenamiento territorial:** el plan regulador del cantón de Pococí, propuesto desde el año 2007, no ha sido aprobado el Concejo Municipal debido a intereses de grupos de poder empresariales. En la actualidad la propuesta del plan está desactualizada y no cuenta con los "índices de fragilidad ambiental" (IFAS) que ahora es un requisito obligatorio (Decreto Ejecutivo No. 32967-MINAE, procedimiento técnico para la introducción de la variable ambiental en los planes reguladores, 2006)¹¹.

Por ausencia de este plan, el uso del suelo seguirá sin restricciones o modificaciones de carácter sostenibles, lo que atenta a los RRNN incluyendo al RH; más aún si la frontera agrícola, ganadera y urbanística continuara en expansión, en especial, en terrenos no aptos y vulnerables a contaminación, como lo son las zonas de recarga hídrica locales (Birkel *et al.* 2006; Fallas 2006; PRODUS 2006).

Varios autores (Cortner y Moote 1994; Kiersch 2000; Postel y Thompson 2005; Sandoval 2010; Arduino *et al.* 2012; Mehta *et al.* 2012) indican la importancia de la relación entre la gestión del RH y la regulación del uso de la tierra, ya a que hay correspondencia estadística entre el tipo de uso del suelo y la calidad del agua, especialmente para parámetros como el nitrógeno, el fósforo y los coliformes fecales (Tong y Wenli 2002).

Por otra parte, al igual que lo documentado para la generalidad de las ASADAS nacionales (Marín 2011), existe despreocupación por parte de la municipalidad de Pococí respecto a la lotización de terrenos y la construcción de viviendas que no cuentan con todos los requisitos exigidos. En ambas ASADAS en estudio este punto es crítico, ya que la entrega de permisos de construcción y la lotización indebida (en especial de grandes desarrolladores) es frecuente, incluso para solicitudes que no contaban con la carta de disponibilidad de agua de

¹¹ Fallas, F. 2012. La municipalidad de Pococí y su plan regulador cantonal (entrevista). Guápiles, Departamento de Gestión Ambiental del Municipio de Pococí, CR.

la ASADA, lo que genera conflictos posteriores entre los pobladores y la ASADA respectiva.

En la ASADA de Suerre existe preocupación adicional por la lotización existente en la parte alta de su manantial en aprovechamiento que pone en riesgo el futuro de su calidad de agua por contaminación subterránea que podría venir de los pozos sépticos de las futuras viviendas. Frente a esta preocupación, la ASADA ha mencionado el problema al representante de la Municipalidad en el COLAGUA quien manifestó que en ese lugar no se entregará permisos de construcción, se espera que esto se cumpla.

Como lo menciona Carley (2004), hace falta que el gobierno responda a las preocupaciones presentadas por los ciudadanos y que no solo se limite a escucharlos. Este problema es solo una muestra más de la realidad imperante en Costa Rica y otros países donde el uso de suelo se lo hace de manera antojadiza e improvisada porque las autoridades locales son incapaces de ejecutar directrices para ordenar el territorio, según la aptitud del suelo (Dourojeanni *et al.* 2002; Castro *et al.* 2004; Arauz 2011; Marín 2011; Arduino *et al.* 2012; GWP y Asociación Peruana del Agua s.f.).

- **Control y monitoreo preventivo por parte de las autoridades locales:** las autoridades locales, principalmente el Municipio y el ACTo, tienen poca capacidad para monitorear y prevenir el incumplimiento de la normativa ambiental, incluso en áreas críticas como la ZP de los acuíferos que, además, no cuenta con buena señalización de sus límites.

En el año 2011 se visitó e inspeccionó esta ZP: a) cuarenta veces por parte de la Dirección de Aguas (todas como atención de quejas de desvíos de cauces)¹²; b) una vez por parte del SENARA por una queja¹³; y c) solo once veces por parte del ACTo (siete de ellas por atención de denuncias particulares)¹⁴. Este resultado fue puesto en evidencia en una evaluación abierta que realizó el ACTo con representantes del COLAGUA, en mayo 2012, donde se manifestó la preocupación sobre la falta de personal exclusivo y de un programa específico de monitoreo y control para esta ZP; en esta reunión, la dirección del ACTo manifestó que tiene que patrullar y monitorear toda su área de cobertura (en el 2011 se recibie-

ron 146 denuncias para la totalidad del ACTo; 5,5% correspondieron a las ubicadas en la ZP de los acuíferos). Se espera que, con el cambio de categoría de ZP a "Parque Nacional los Acuíferos" se supere el problema mencionado ya que esta área de conservación contará con personal y fondos exclusivos para su monitoreo y control.

- **Sistema de gestión de denuncias ambientales relacionadas con el recurso hídrico por parte de las autoridades ambientales:** como se manifestó anteriormente, varias son las instituciones que tienen competencia con el sistema de denuncias ambientales y esto ha ocasionado que las denuncias se hagan efectivas en un periodo no menor a un año. Este sistema ineficaz, lento y burocrático de gestión de denuncias ambientales ha sido también detectado por García (2009) y Marín (2011).

- **Presentación de denuncias ambientales particulares por moradores de las comunidades de Suerre y Buenos Aires:** las denuncias ambientales, en su mayoría, son presentadas gracias a la gestión de las ASADAS y de la ADIBA y no por moradores de las comunidades de forma particular.

Este fenómeno obedece a los siguientes factores: a) desinterés ambiental del ciudadano en presentar la denuncia; b) interés en presentar la denuncia pero desinformación de cómo hacerlo; c) lentitud del proceso; y d) no poder dar seguimiento a la queja antepuesta. Respecto de este último factor, el Código Procesal Penal (artículo 295) manifiesta que, por confidencialidad, las únicas personas que pueden tener conocimiento del estado y desenlace de la denuncia son el denunciante (que no puede ser anónimo) y el querellante o víctima (Ley No. 7594, Código procesal penal, 1996). Todos estos factores han producido lo que Bothelo *et al.* (2003), Winter y May (2001) llaman "desmotivación social".

- **Conocimiento de las leyes ambientales:** la mayoría de familias encuestadas desconocen las leyes ambientales relacionadas con el RH (Anexo 1) que deberían cumplir en sus propiedades o en la comunidad (porcentaje promedio de desconocimiento: 61,7% en Buenos Aires y 56,3% en Suerre; Cuadro 5). El desconocimiento de las normas ambientales por parte de la población es común y ha sido detectado como una de las causas principales para su incumplimiento (Dourojeanni y Jouravlev 2001; Winter y May 2001; Botelho *et al.* 2003; García 2009).

¹² Campos, I. 2012. Gestión de denuncias ambientales por parte de la Dirección de Agua (entrevista). San José, Dirección de Agua, CR.

¹³ Agudelo, C. 2012. Rol del SENARA en la gestión del RH (entrevista). San José, SENARA, CR.

¹⁴ Rivera, L. 2012. Gestión de denuncias ambientales por parte del ACTo (entrevista). Guápiles, ACTo, CR.

Cuadro 5. Grado de conocimiento de los pobladores de las comunidades de Buenos Aires y de Suerre sobre la normativa ambiental que compete al recurso hídrico

Ley	Artículo No.	Buenos Aires (%)	Suerre (%)
Agua	31a	55,3	68,8
	148	23,5	25,2
	149	22,0	19,7
Forestal	33b	52,3	61,1
Promedio de conocimiento general de la normativa		38,3	43,7

- **Estado financiero familiar e incentivos económicos de conservación:** la necesidad económica ante la falta de alternativas económicamente rentables es una de las principales razones que motiva a la gente a deforestar sus terrenos, incluso ilegalmente o infringiendo leyes ambientales. Según declaraciones de los moradores de las comunidades, no se conoce bien el procedimiento para el aprovechamiento legal de madera y, en el MINAET, es muy difícil de ejecutar y requiere de mucho tiempo. Esto concuerda con Winter y May (2001) y May (2004) quienes aseguran que la voluntad de cumplir no es suficiente a menos que los “regulados” sean capaces, en términos sociales y económicos, de respetar la normativa.

Si bien existe la posibilidad de acceder a fondos estatales conservando el bosque mediante PSA del FONAFIFO, muchas familias no pueden acceder a esta alternativa por complejidad del proceso, desinformación o falta de título de propiedad. También hay pobladores que pese a que reúnen todos los requisitos se niegan a inscribirse porque no lo encuentran lucrativo en comparación con otras actividades (agricultura y ganadería). Respecto a este punto, Pagiola *et al.* (2005) señalan que es importante informar que el PSA no fue diseñado para reducir la pobreza (aunque puede ayudar a combatirla) y que tampoco pretende que las personas disminuyan o abandonen sus actividades laborales; quizás así, sean mayormente aceptados.

Varios autores (Kosoy *et al.* 2007; Wunder 2007; Vela y Jiménez 2010) también encontraron que los mayores obstáculos del PSA son: a) falta de conocimiento poblacional sobre su implementación; b) baja remuneración que, en ocasiones, no compensa el “costo de oportunidad” que tienen que afrontar los inscritos; y c) los derechos de propiedad en disputa. Dorado *et al.* (2011) señalan que deben haber mecanismos eficientes de sensibilización para

que la gente aplique al PSA porque valoran los servicios ecosistémicos y no por el dinero.

- **Preocupación ciudadana por el ambiente:** el personal de ambas ASADAS manifiesta que muchos pobladores han desvalorizado los RRNN por lo que deforestan total o parcialmente el terreno donde se localizan sus viviendas y/o depositan incorrectamente sus residuos sólidos. Respecto de este factor, Botelho (2003) manifiesta que mientras más conciencia tenga un actor (como individuo o institución) sobre la importancia ambiental de la aplicación de las reglas existentes, mayor grado de respeto tendrá sobre las mismas.

En general, sobre todos los factores mencionados, es evidente que aunque contar con un sistema eficiente y ordenado de supervisión del cumplimiento de la normativa es fundamental (Botelho *et al.* 2003), la falta de mecanismos de regulación control es un problema frecuente. Por lo tanto, esta falta de capacidad institucional de las autoridades debería ser suplida con el cumplimiento por convicción propia de los ciudadanos (Cohen 1998; Dourojeanni y Jouravlev 2001; May 2004; García 2009; Arduino *et al.* 2012).

Estrategias para mejorar la gobernanza del recurso hídrico

El cuadro 6 muestra las estrategias propuestas para mejorar la gobernanza local del RH. Se recomienda que estas sean aplicadas de forma holística para evitar soluciones no integrales y de corto alcance (Dourojeanni y Jouravlev 2001; Winter y May 2001). Algunas de ellas son similares a otras (Cohen 1998; Carley 2004; May 2004; Arosemena 2010; Hernández 2010; Sandoval 2010; Dorado *et al.* 2011; Marín 2011); sin embargo, las aquí planteadas responden a las características intrínsecas del sistema de gobernanza del área de estudio.

Cuadro 6. Estrategias para mejorar la gobernanza del recurso hídrico en el área de estudio

1: ACTo, 2: ACCVC, 3: Dirección de Agua, 4: FONAFIFO, 5: MINSALUD, 6: SENARA, 7: ICE, 8: IDA, 9: DINADECO, 10: JAPDEVA, 11: ARESEP, 12: AyA, 13: LNA, 14: Municipio de Pococí, 15: ADEPO, 16: ASIREA, 17: Fundación Pococí Limpio, 18: INA, 19: Universidades locales, 20: Universidad la Earth, 21: COLAGUA, 22: Comisión de los Acuíferos, 23: ASADAS de Buenos Aires y de Suerre, 24: ASADAS del cantón de Pococí, 25 ADIS y ADIBA, 26: comunidades

Eje	Líneas estratégicas	Acciones de intervención	Involucrados
Roles y participación de los actores locales	Articulación de esfuerzos institucionales	Reuniones anuales donde todos los actores relacionados con el RH presenten un informe de actividades y sus planes de trabajo anual y busquen alternativas de trabajo conjunto y de solución a conflictos	21 con todos actores locales claves
		Seguimiento y cumplimiento de los planes de trabajo mencionados	Todos
		Alternativas para incrementar la incidencia de SENARA y de los centros académicos locales en temas relacionados con el RH local	23, 1, 19, 20, 21 y 6
		Plan coordinado de monitoreo, asesoría técnica y logística a las ASADAS	13, 5, 12, 11, 10, 3 y 24
		Alianza, apoyo y coordinación entre ASADAS	24
		Planteamiento y ejecución conjunta de proyectos ambientales relacionados con el RH a financiarse con fondos estatales	23, 25 y 9
		Asistencia a las reuniones mensuales de la oficina móvil del AyA para mejorar la comunicación y acercamiento	23 y 12
		Difusión, motivación, inscripción y permanencia en el programa de "Sello de Calidad Sanitaria"	13, 12, 23
	Cumplimiento y fortalecimiento de roles institucionales	Instalación de un sistema de tratamiento de aguas residuales y de alcantarillado sanitario	14, 5, 12, 15, 3, 9, 23
		Plan de monitoreo y supervisión de las empresas que realizan la limpieza de los tanques sépticos domiciliarios del cantón de Pococí	5 y 14
		Plan de prevención de enfermedades transmitidas por agua relacionando la información de calidad de agua de los acueductos con el programa de registro cantonal de tales enfermedades	5, 12, 13 y 24
	Fortalecimiento institucional y desarrollo de capacidades	Mayor difusión, marcaje y capacitación comunitaria en PSA	4
		Contratación de, al menos, un funcionario más para el Departamento de Gestión Ambiental del Municipio	14
Ambiente propicio: normativa ambiental que compete al RH	Información de denuncias antepuestas	Alternativas que eviten la inspección y elaboración de informes de manera repetitiva en la gestión de una denuncia ambiental	1, 3, 6 y 12
		Contratación de un funcionario que atienda las denuncias por alteración de cauces en el ACTo o en la región Huetar-Atlántica	3
		Contratación de un funcionario extra que atienda exclusivamente las denuncias ambientales de la ZP de los acuíferos	1
		Cumplimiento en la entrega de informes anuales a COLAGUA con el proceso y desenlace de denuncias ambientales locales	1 y 21
		Presentación de informes anuales a COLAGUA del proceso y desenlace de denuncias por aguas residuales	5 y 21
	Educación y capacitación	Campaña educativa comunitaria sobre: a) normativa ambiental que compete al RH, b) importancia de cumplir la normativa y anteponer denuncias y c) proceso de presentación de denuncias	1, 16, 23, 21 y 26
		Capacitación comunitaria en aprovechamiento legal de madera	1, 16, 21, 26
	Vigilancia preventiva	Fortalecimiento del monitoreo y control en la ZP de los acuíferos	1
		Campaña de vigilancia comunitaria de cumplimiento de normativa ambiental	23, 1, 21 y 26
	Demarcación de áreas protegidas	Mejoramiento y mantenimiento continuo de la señalización que demarca los límites de la ZP de los acuíferos de Guácimo y Pococí	1

Instrumentos de manejo	Ordenamiento territorial	Educación y capacitación	Difusión comunitaria sobre la importancia del plan regulador	21, 14, 23 y 26
			Capacitación sobre los requisitos que debe cumplir un lote o construcción (que incluye carta de disponibilidad de agua de la ASADA respectiva) a desarrolladores locales	14 y 26
			Elaboración de pancartas informativas en los lugares donde está prohibida la lotización y urbanización en las comunidades	14 y 26
		Gestión de denuncias	Presentación de un informe de labores anuales sobre gestión y desenlace de denuncias por lotificación o construcción indebidas	14 y 21
			Contratación de un funcionario que monitoree y de atención exclusiva a denuncias por construcciones o lotificaciones indebidas	14
	Regulación del uso del suelo	Búsqueda de financiamiento para el desarrollo de IFAS, actualización y aprobación del plan regulador	14, 15, 1 y 21	
		Coordinación interinstitucional para que sus proyectos comunitarios tengan un enfoque de crecimiento ordenado y compatible con las aptitudes del suelo y con las regulaciones existentes	23, 7, 12 y 14	
	Inclusión de la sociedad civil	Consulta a la sociedad civil sobre la propuesta de cambio de categoría de protección de la ZP de los acuíferos a parque nacional y de su respectiva delimitación para evitar conflictos sociales	1, 21, 26	
	Gestión ambiental	Educación y capacitación	Capacitación comunitaria sobre la importancia del uso sostenible y conservación de los RRNN y del RH	21, 1, 16, 23 y 26
		Fortalecimiento de recursos forestales	Programa de forestación y reforestación responsable con los árboles nativos gratuitos del ICE en terrenos deforestados (en especial en aquellos cercanos a fuentes de agua)	23, 16, 26, 19 y 20
Manejo de residuos sólidos		Involucramiento de Buenos Aires en la gestión de Fundación Pococí Limpio; continuar y mejorar el reciclaje en Suerre; sensibilización comunitaria sobre la importancia del reciclaje	17, 16, 23, 26, 17 y 14	

CONCLUSIONES

- Aunque múltiples actores institucionales forman parte del sistema de gobernanza local hídrica del área de estudio, algunos factores como la falta de presupuesto y personal, poca incidencia política y falta de interés ocasionan duplicación e incumplimiento de sus responsabilidades con respecto al recurso hídrico.
- El sistema de gobernanza local del RH es respaldado y favorecido por la existencia de otros actores que, aunque afrontan problemas relacionados con su capacidad institucional, cumplen con sus funciones, están comprometidos, empoderados y promueven procesos de participación para la gestión del RH.
- La mayoría de actores tienen un perfil sobresaliente por su poder, interés y/o legitimidad en la gobernanza del RH, por lo que requiere fortalecerlos para que mantengan ese perfil, pero también apoyar a los actores de bajo perfil para que superen sus debilidades, se integren y tengan un papel relevante en la gobernanza del RH.
- Sobre el análisis de interrelación entre los actores, se concluye que predomina el trabajo aislado (densidad de relaciones de 20,8%), lo que constituye una de las principales debilidades del sistema de gobernanza hídrica local.
- Un buen indicador de buena gobernanza hídrica es que en los manantiales aprovechados

por ambas ASADAS en estudio, en general, se respeta la normativa ambiental vigente. Sin embargo, a nivel comunitario y de la ZP de los acuíferos de Guácimo y Pococí existe mucho incumplimiento por varios factores tales como la ausencia de plan regulador, el desconocimiento poblacional de las leyes ambientales, el sistema ineficaz de gestión de denuncias ambientales, entre otros.

- Se podría mejorar la gobernanza del agua mediante la implementación integrada de estrategias y acciones como: el cumplimiento de funciones y la articulación de esfuerzos institucionales, la divulgación y vigilancia preventiva del cumplimiento de la normativa así como la mejora en la gestión de denuncias ambientales, la demarcación de áreas protegidas, la regulación del uso del suelo y la incorporación de planes de gestión ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, A; Ribot, J. 2000. Accountability in decentralization: a framework with South Asian and West African cases. New Haven (US), Yale University. 63 p.
- Aignerren, M. 2010. La técnica de recopilación de información mediante los grupos focales. Bogotá (CO), Universidad de Antioquia. 32 p.

- Arauz, K. 2011. El proceso hacia una nueva institucionalidad en la gestión y el derecho al agua para consumo humano en Costa Rica: análisis de tres experiencias. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 163 p.
- Arduino, S; Colombo, G; Ocampo, O; Panzeri, L. 2012. Contamination of community potable water from land grabbing: a case study from rural Tanzania. *Water alternatives* 5(2):344-359.
- Arosemena, J. 2010. Gestión del recurso hídrico en la cuenca alta del río Caldera, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 221 p.
- Astorga, Y. 2008. Situación del recurso hídrico. En decimocuarto informe de estado de la nación en desarrollo humano sostenible. San José (CR), CONARE, La Defensoría de los Habitantes. 60 p.
- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, CR); OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2002. Análisis sectorial: agua potable y saneamiento de Costa Rica. Resumen Ejecutivo. San José (CR), AyA. 20 p.
- Ballester, M. 2008. Memoria VI conferencia centroamericana de legisladores del recurso hídrico: gobernabilidad del agua, visión de GWP Centroamérica. Arguello, L. San José (CR), GWP. 38 p.
- Barquero, A. 2009. Demanda creciente de agua y limitación de las fuentes accesibles. *Ambientico* 189(1):8-11.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo, US); Asociación Países Bajos-BID para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, Países Bajos; GWP (Global Water Partnership, SE); CARE INTERNATIONAL, US. 2003. Agua y pobreza: informe de avance sobre la iniciativa regional para América Latina y el Caribe. Kyoto (JP). Tercer Foro Mundial del Agua. 71 p.
- Birkel, C; Brenes, L; Salas, F. 2006. Estudios sobre tipo y uso de las aguas a nivel de subcuencas hidrográficas en toda el Área de Conservación Tortuguero. San José (CR), MINAE, UE. 55 p.
- Botelho, A; Pinto, L; Rodrigues, I. 2003. How to comply with environmental regulations? The role of information. Working Paper Series No. 25. Braga (PT), Universidade do Minho. 22 p.
- Brockington, D. 2011. Ecosystem services and fictitious commodities. *Environmental Conservation* 38(1):367-369.
- Bustamante, R; Palacios, P. 2005. Gobernanza, gobernabilidad y agua en los Andes. Lima (PE), NEGOWAT. 19 p.
- Butterworth, J; Warner, J; Patrick, M; Smits, S; Batchelor, C. 2010. Finding practical approaches to integrated water resources management. *Water alternatives* 3(1):68-81.
- Carballo, L. 2009. Situación del recurso hídrico en Costa Rica. *Ambientico* 189(1):3-7.
- Carley, M. 2004. Ciudadanos, innovación, gobernanza local: una propuesta del siglo XXI. Informe y directrices del Proyecto Demos. Edimburgo (UK), Universidad Heriot-Watt.
- Carter, R. 2006. Investigation options for self-help water supply: from field research to pilot interventions in Uganda. Nairobi (KE), Water and Sanitation Program - África, World Bank. 16 p.
- Carter, R. 2010. Myths of the rural water supply sector. *Rural Water Supply Network Perspectives* 4(1):1-7.
- Castro, R; Monge, E; Rocha, C; Rodríguez, H. 2004. Gestión local y participativa del recurso hídrico en Costa Rica. San José (CR), Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales.
- Catebiel, V; Castro, G; Hernández, U. 2006. El análisis de redes sociales en procesos de formación avanzada. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa* 1(4):1-12.
- Clark, L. 2006. Manual para el mapeo de redes como una herramienta de diagnóstico. La Paz (BO), CIAT. 32 p.
- Cleaver, F. 1998. Incentives and informal institutions: gender and the management of water. *Agriculture and Human Values* 15(1): 347-360.
- Cleaver, F; Toner, A. 2006. The evolution of community water governance in Uchira, Tanzania: The implications for equality of access, sustainability and effectiveness. *Natural Resources Forum* 30(3):207-218.
- Cleaver, F; Franks, T. 2007. Water governance and poverty. *Progress in Development Studies* 7(4):291-306.
- Cohen, M. 1998. Monitoring and enforcement of environmental policy. Nashville (EU), Vanderbilt University. 61 p.
- Cortner, H; Moote, M. 1994. Trends and issues in land and water resources management: setting the agenda for change. *Environmental Management* 18(2):167-173.
- Crow, B; Sultana, F. 2002. Gender, class and access to water: three cases in a poor and crowded delta. *Society and Natural Resources* 15(1):709-720.
- CWWA (Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales, TT); AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, BR); CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL); OEA (Organización para los Estados Americanos, US); OPS (Organización Panamericana de la Salud, US); OMS (Organización Mundial de la Salud, US); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, KE); ORPALC (Oficina Regional para América Latina y el Caribe, MX). 2003. Agua: no la tenemos tan segura. Lima, (PE), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 24 p.
- Chevalier, J. 2009. Sistemas de Análisis Social: análisis social (colaboración/conflicto, legitimidad, intereses, poder) (en línea). Ottawa, CA. Consultado 01 ago. 2011. Disponible en http://www.sas2.net/documents/tools/techniques/social_analysis_clip.pdf

- Chevalier, J. 2010. Sistemas de análisis social: identificación nominal (en línea). Ottawa CA. Consultado 02 ago. 2011. Disponible en http://www.sas2.net/documents/tools/techniques/stakeholder_identification_es.pdf
- Danert, k; Sutton, S. 2010. Accelerating self supply: a case study from Uganda 2010. *Self Supply Flagship* 4(1):1-12.
- Decreto Ejecutivo No. 32967-MINAE. Procedimiento técnico para la introducción de la variable ambiental en los planes reguladores u otra planificación de uso del suelo. Diario Oficial La Gaceta. 20 feb. 2006.
- Decreto No. 17390. Creación de la zona protectora de los acuíferos de Guácimo y Pococí. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 15 dec. 1986.
- Díaz, G; Ortiz, R. 2005. La entrevista cualitativa. Guatemala (GT), Universidad Mesoamericana. 31 p.
- Dorado, V; Eguino, S; Ribera, M; Sangüeza, S. 2011. Mecanismos financieros del agua en América Latina. Ciudad de Panamá (PA), Fundación Avina. 154 p.
- Dourojeanni, A; Jouravlev, A. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua. Santiago de Chile (CL), ONU, CEPAL. 83 p.
- Dourojeanni, A; Jouravlev, A; Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. Santiago de Chile (CL), ONU, CEPAL. 83 p.
- Emerton, L; Bos, E. 2004. Valor: considerar a los ecosistemas como infraestructura hídrica. San José (CR), IUCN. 94.
- Emery, M; Fey, S; Flora, C. 2006. Using the community capitals framework in asset-based community development. *Community development society journal* 13(1):1-19.
- Fallas, J. 2006. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica (en línea). Heredia, CR. Consultado 09 set. 2011. Disponible en http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/alfabetizacion/vulnera_agua_sub.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2002. Informe de la cumbre mundial sobre la alimentación: cinco años después. Roma (IT), FAO. 112 p.
- Flores, C. 2009. Análisis de los determinantes del desempeño de operadores de acueductos rurales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 106 p.
- Fontana, A; Frey, J. 1994. The interview: from structured questions to negotiated text. *In* Denzin, N; Lincoln, Y. eds. 1994. *Handbook of qualitative research*. Washington, D.C. (US), Thousand Oaks: Sage Publications, Inc. 643 p.
- Franco, M. 2008. Género y agua en Centroamérica. Zaragoza (ES), GWA, SAWN, FANCA. 214 p.
- Galárraga, R. 2000. Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador. Quito (EC), SAMTAC, GWP. 120 p.
- García, D. 2009. Análisis de la gobernanza del recurso hídrico en la subcuenca del río Ulí, reserva de la Biosfera Bosawas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba (CR), CATIE.
- García, S; Thomas, A. 2003. The structure of municipal water supply cost: application to a panel of french local communities. *Journal of Productivity Analysis* 16(1):144-163.
- Geilfus, F. 2005. 80 Herramientas de investigación participativa: diseño, planificación, monitoreo y evaluación. San José (CR), IICA. 134.
- Gentes, I. 2010. Sostenibilidad de los acueductos comunales en Costa Rica: desafíos pendientes para la gobernabilidad hídrica. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60(1):5-9.
- Gutierrez, M; Emery, M; Fernández, E. 2009. The sustainable livelihoods approach and the community capitals framework: the importance of system - level approaches to community change efforts. *Journal of the Community Development Society* 40(2):106-113.
- GWP (Global Water Partnership, SE). 2000a. Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo (SE), GWP. 80 p.
- GWP (Global Water Partnership, SE). 2000b. Towards water security: a framework for action. La Haya (NL), GWP. 10 p.
- GWP (Global Water Partnership, SE); INBO (International Network of Basin Organizations, BR). 2009. Manual para la gestión integrada de recursos hídricos en cuencas. París (FR), GWP. 112 p.
- GWP (Global Water Partnership, SE); Asociación Peruana del Agua. s.f. El agua: un recurso para todos, una responsabilidad de todos. Lima (PE), GWP. 24 p.
- Hernández, M. 2010. Gestión del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca La Pagua, Sierra de Otontepec, Veracruz, México, tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 189 p.
- Hinrichser, D; Robey, B; Upadhyay, D. 1998. La crisis venidera del agua. *Population Reports* 26(14):1-61.
- Huang, G; Xia, J. 2002. Barriers to sustainable water-quality management. *Environmental Management* 61(1):1-23.
- Imbach, A; Umaña, C. 2009. Análisis de las ASADAS de Guatuso y los Chiles, Costa Rica. San José (CR), AECID, INBio. 25 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, CR). 2002a. IX Censo nacional de población: características económicas. San José (CR), INEC. 282 p.
- Jiménez, F. 2010. Reconocimiento inicial de la cuenca e identificación y caracterización de los actores claves. Turrialba (CR), CATIE. 13 p.

- Jiménez, F. 2011a. Introducción al manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba (CR), CATIE. 43 p.
- Jiménez, F. 2011b. La organización, participación, gobernanza e institucionalidad para el manejo y la gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba (CR), CATIE. 4 p.
- Jones, S. 2011. Participation as citizenship or payment? A case study of rural drinking water governance in Mali. *Water alternatives* 4(1):54-71.
- Kiersch, B. 2000. Impacts of land use on water resources: a literature review. Roma (IT), ONU. 14 p.
- Kosoy, N; Martinez, M; Muradian, R; Martinez, J. 2007. Payments for environmental services in watersheds: insights from a comparative study of three cases in Central America. *Ecological Economics* 61(2-3):446-455.
- Laboranti, C; Malinow, G. 1995. Diagnóstico preliminar sobre la gestión de los recursos hídricos en la República Argentina. Buenos Aires (AR), Subsecretaría de Recursos Hídricos, Dirección Nacional de Recursos Hídricos. 22 p.
- Lebel, L; Garden, P; Imamura, M. 2005. The politics of scale, position, and place in the governance of water resources in the Mekong Region. *Ecology and Society* 10(2):18-38.
- Leflaive, X; Witmer, M; Hurtado, R; Bakker, M; Kram, T; Bouwman, L; Visser, H; Bouwman, A; Hilderink, H; Kim, K. 2012. Water. In OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, FR). ed. 2012. *Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction*. OECD. 70 p.
- Ley No. 276. Ley de Aguas. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 26 ago. 1942.
- Ley No. 7575. Ley Forestal. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 13 feb. 1996.
- Ley No. 7594. Código procesal penal. Diario Oficial La Gaceta. San José, CR. 10 dic. 1996.
- Lockwood, H. 2004. Estudio de aspectos institucionales de desarrollo de los acueductos rurales en Costa Rica. Informe final. San José (CR), AyA, AguaConsult. 127
- Madrigal, R; Alpizar, F. 2011. Determinants of performance of community-based drinking water organizations. *World Development* 39(9):1663-1675.
- Marín, R. 2011. El acueducto comunitario óptimo: condiciones para la gestión efectiva de los servicios de agua. El caso de Costa Rica. San José (CR), AVINA. 22 p.
- May, P. 2004. Compliance motivations: affirmative and negative bases. *Law & Society Review* 38(1):41-68.
- Mayntz, R. 2001. El Estado y la sociedad civil en la gobernanza moderna. *Revista del CLAD Reforma y Democracia* 21(1):1-8.
- Mehta, L; Veldwisch, G; Franco, J. 2012. Introduction to the special issue: water grabbing? Focus on the (re) appropriation of finite water resources. *Water alternatives* 5(2):193-207.
- Minaverry, C. 2008. Valoración social del recurso hídrico y su relación con la crisis mundial de abastecimiento. *Recursos Naturales y Ambiente* 55(1):4-7.
- Navarro, C. 2002. Gobernanza en el ámbito local. VII Congreso Internacional del CLAD sobre la reforma del Estado y la administración pública. Lisboa (PT), Universidad Autónoma de Madrid. 9 p.
- Niño, J. 2004. Construyendo una visión para la acción: avances y desafíos de la transversalización del enfoque de género en la gestión integrada de los recursos hídricos en América Latina. Lima (PE), PAS-LAC, GW. 54 p.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, FR). 2011. Public governance and water policies: An innovative multilevel approach. In OECD. ed. 2011. *Water Governance*. OECD. 14 p.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, FR). 2012. Meeting the water governance challenge. In OECD. ed. 2012. *Meeting the water reform challenge*. OECD. 33 p.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, FR). 2013. Multi-level environmental governance: Water. In. 2013. *Environmental Performance Reviews*. Italia, OECD.
- ONU (Naciones Unidas, ES). 2006. El agua, una responsabilidad compartida. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. París (FR), UN-WATER. 52 p.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, ES). 1992. The Dublin statement on water and sustainable development (en línea). Dublín, IE. Consultado 16 set. 2011. Disponible en <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas, ES). 2000. Objetivos de desarrollo del Milenio. Nueva York (US), Naciones Unidas. 60 p.
- Orellana, A; Jiménez, F; Faustino, J; Prins, C. 2010. Procesos y experiencias de cogestión en la subcuenca del río Copán, Honduras: interacción e integración de actores y de los componentes del modelo de cogestión. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60(1):51-60.
- Oriol, J. 2003. El concepto y el análisis de la gobernabilidad. *Revista Instituciones y Desarrollo* 14(1):239-269.
- Page, B; Bakker, K. 2005. Water governance and water users in a privatised water industry: participation in policy-making and in water services provision: a case study of England and Wales. *International Journal of Water* 3(1):38-60.
- Pagiola, S; Arcenas, A; Platias, G. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development* 33(2):237-253.
- Pahl, C; Mostert, E; Tábara, D. 2008. The growing importance of social learning in water resources management and sustainability science. *Ecology and Society* 13(1):24-28.

- Peal, A; Evans, B; Voorden, Cvd. 2010. Hygiene and sanitation software: an overview of approaches. Geneva (CH), Water Supply & Sanitation. 156 p.
- Pierre, J. 1993. Societal governance: levels, modes and orders of social-political interaction. In Kooiman, J. ed. 1993. Modern governance: new government - society interactions. Londres (UK), Oxford University Press. 279 p.
- Plummer, J; Slaymaker, T. 2007. Rethinking governance in water services. Working Paper 284. London (UK), Overseas Development Institute. 47 p.
- Postel, S; Thompson, B. 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum* 29(1):98-108.
- PREVDA (Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental, CR); Unión Europea. 2008. Plan de cuenca del río Reventazón - Parímina, 2008-2010. San José (CR), COMCURE. 196 p.
- ProDUS (Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible de la Universidad de Costa Rica, CR). 2006. Estudio hidrológico en el cantón Pococí y las partes altas al sur del cantón de Guácimo, alrededores de la Zona Protegida Guácimo y Pococí. San José (CR), UCR. 150.
- Radhamés, W. 2010. Gobernanza ambiental en la cuenca alta de la presa de Sabana Yegua, República Dominicana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR 164 p.
- Rijsberman, F. 2006. Water scarcity: fact or fiction? *Agricultural Water Management* 80(1):5-22.
- Rogers, P; Hall, A. 2003. Effective water governance. *GWP Tec Background Papers* 7(1):1-48.
- Ruiz, S; Gentes, I. 2008. Retos y perspectivas de la gobernanza del agua y gestión integral de recursos hídricos en Bolivia. *European Review of Latin American and Caribbean Studies* 85(1):41-59.
- RWSN (Rural Water Supply Network, CH) (29 nov.-1 dic.). 2011. Rural water supply in the 21st century: myths of the past, visions for the future. Event report. Kampala (UG), RWSN. 24 p.
- RWSN (Rural Water Supply Network, CH). 2012. Rural water supply network (RWSN): strategy 2012 to 2014. Vadian Strasse (CH), RWSN. 27 p.
- Sandoval, C. 2010. Comportamiento hidrológico y gestión del agua para consumo humano en la microcuenca San Juan Otontepec, Veracruz, México. Tesis Mag. Sc. Turrialba. Turrialba, CR, CATIE. 176 p.
- Santos, L; Oweis, T; Zairi, A. 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management* 57(3):175-206.
- Sara, J; Katz, T. 1998. Making rural water supply sustainable: report on the impact of project rules. Washington, D.C. (US), World Bank Water and Sanitation Program. 87 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. GRUAS II: Propuesta de Ordenamiento Territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Vol. 4: Acciones estratégicas para el cumplimiento de las metas de conservación de la biodiversidad continental en Costa Rica (2008-2012). San José (CR), Impresos Ruiz. 138 p.
- Syme, G; Nancarrow, J; McCreddin, P. 1999. Defining the components of fairness in the allocation of water to environmental and human uses. *Journal of Environmental Management* 57(1):51-70.
- Theesfeld, I. 2011. Perceived power resources in situations of collective action. *Water Alternatives* 4(1):86-103.
- Tong, S; Wenli, C. 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management* 66(1):377-393.
- Torres, P; Rodó, J. 2004. Gobernanza, pensamiento estratégico y sostenibilidad. Cataluña (ES), Institut Internacional de Governabilitat de Catalunya. 12 p.
- Toze, S. 2006. Reuse of effluent water: benefits and risks. *Agricultural Water Management* 80(1):147-159.
- Turton, A; Hattingh, H; Maree, G; Roux, D; Claasen, M; Strydom, W. 2007. Governance as a dialogue: government - society - science in transition. Nueva York (US), Springer Verlag. 354 p.
- Tylor, S; Bogdan, R. 1987. Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Barcelona (ES), Ediciones Paidós Ibérica. 301 p.
- Uphoff, N. 1992. Local institutions and participation for sustainable development. Gatekeeper Series No SA31. London (UK), International Institute for Environment and Development. 16 p.
- Vela, M; Jiménez, F. 2010. Sistemas agroforestales en áreas de recarga de agua para consumo humano en la cuenca alta del río Bobo, Colombia: posibilidades para el desarrollo de un esquema de pago por el servicio ecosistémico hídrico. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60(1):76-8.
- Velázquez, A; Aguilar, N. 2005. Manual introductorio al análisis de redes sociales. Ciudad de México (MX), UAEM. 45 p.
- Wasserman, S; Faust, K. 1994. Social network analysis: methods and applications. Nueva York (US), Cambridge University Press. 819 p.
- Winter, S; May, P. 2001. Motivation for compliance with environmental regulations. *Journal of Policy Analysis and Management* 20(4):675-698.
- Woodhouse, P. 1997. Governance & local environmental management in Africa. *Review of African Political Economy* 74(1):537-547.
- Wunder, S. 2007. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology* 21(1):48-58.
- Zaag, P. 2005. Integrated water resources management: relevant concept or irrelevant buzzword? A capacity building and research agenda for Southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 30(11): 867-871.

ANEXO 1. Indicadores para evaluar el grado de cumplimiento de la normativa relacionada con el recurso hídrico en los manantiales aprovechados por las ASADAS en estudio

Ley	No.	Contenido
Ley de Aguas	31a	Se declaran como reserva de dominio a favor de la Nación, de dominio público y de protección del RRHH las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de 200 metros de radio
Semáforo		Descripción
Blanco	?	No se evidencia presencia de ninguna actividad que pueda afectar la zona de protección
Verde	?	Presencia actividades muy aisladas e infrecuentes (1-15% terreno)
Amarillo	?	Presencia aisladas (16-30% terreno)
Rojo	?	Presencia actividades frecuentes (30-45% terreno)
Rojo oscuro	?	Presencia de actividades muy frecuentes (más del 46%)
Ley	No.	Contenido
Ley de Aguas	148	Los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos, o aquellos en los cuales existan manantiales, en cuyas vegas o contornos hayan sido destruidos los bosques que les servían de abrigo, están obligados a sembrar árboles en las márgenes de los mismos ríos, arroyos o manantiales, a una distancia no mayor de 5 metros de las expresadas aguas, en todo el trayecto y su curso, comprendido en la respectiva propiedad
Semáforo		Descripción
Blanco	?	No se evidencia destrucción del bosque en el manantial
Verde	?	Se han sembrado árboles en todo el contorno del manantial a 5 metros de la salida del agua
Amarillo	?	Se han sembrado árboles en el 50% del contorno del manantial
Rojo	?	Se han sembrado árboles en un 30% del contorno del manantial
Rojo oscuro	?	No se han sembrado árboles después de su destrucción
Ley	No.	Contenido
Ley de Aguas	149	Se prohíbe destruir, tanto en los bosques nacionales como en los de particulares, los árboles situados a menos de 60 metros de los manantiales que nazcan en los cerros, o a menos de 50 metros de los que nazcan en terrenos planos
Semáforo		Descripción
Blanco	?	No se evidencia destrucción del bosque en la distancia que menciona la ley
Verde	?	Se evidencia una destrucción insignificante (menor al 5% del terreno) en la distancia que menciona la ley
Amarillo	?	Se evidencia una destrucción menor (6 al 20% del terreno) en la distancia que menciona la ley
Rojo	?	Se evidencia una destrucción mayor (20 al 40% del terreno) en la distancia que menciona la ley
Rojo oscuro	?	Se evidencia una destrucción muy pronunciada (Mayor al 41% del terreno) en la distancia que menciona la ley
Ley	No.	Contenido
Ley Forestal	33b	Se declaran áreas de protección del RRHH y forestal: c) Una franja de 15 metros en zona rural y de 10 metros en zona urbana, medidos horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, permanentes e intermitentes, si el terreno es plano y de cincuenta metros horizontales si el terreno es quebrado.
Semáforo		Descripción
Blanco	?	No se evidencia presencia de ninguna actividad (incluida la deforestación) que pueda afectar la zona de protección
Verde	?	Presencia actividades muy aisladas e infrecuentes (incluida la deforestación) (1-15%)
Amarillo	?	Presencia aisladas (incluida la deforestación) (16-30% terreno)
Rojo	?	Presencia actividades frecuentes (incluida la deforestación) (30-45% terreno)
Rojo oscuro	?	Presencia de actividades muy frecuentes (incluida la deforestación) (más del 46%)

LOS PRIMEROS DIQUES DE CÓRDOBA, ARGENTINA: LOS TAJAMARES JESUITAS

THE OLDEST DAMS OF CORDOBA, ARGENTINA: THE JESUITS' "TAJAMARES"

Santiago Reyna*, Teresa Reyna* y María Lábaque*

Resumen:

La Compañía de Jesús es una orden religiosa que se implantó en la Ciudad de Córdoba, Argentina, cerca a su fundación en 1573, estableciendo un sistema cultural-social único que marcó el desarrollo de la provincia. Los jesuitas produjeron importantes aportes a las ciencias, la tecnología y las artes, construyendo sistemas hidráulicos para el riego de las tierras de cultivo y el aprovechamiento de la potencia hidráulica. En las Estancias Jesuíticas de Córdoba: Caroya (1616), Alta Gracia (1622), Santa Catalina (1643) y La Candelaria (1683) se construyeron diques artificiales denominados "Tajamares", constituyendo los embalses artificiales más antiguos de la Provincia de Córdoba. Los Tajamares fueron diseñados para optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos locales. Todos se conservan; algunos de ellos continúan hoy en funcionamiento conservando las funciones para las que fueron creados; otros cambiaron sus fines o se encuentran actualmente fuera de uso, pero todos los diques se mantienen en pie. El cuidado de estas estructuras hidráulicas requiere de estudios para establecer el estado actual y asegurar el funcionamiento correcto de los embalses. Las obras hidráulicas que realizaron los jesuitas se integran aún hoy al ambiente natural generando mínimos impactos. Es probable que esto haya sido consecuencia de la conjunción de dos factores: la visión utópica de los emprendimientos de las Estancias (pertenecientes al proyecto jesuítico encarnado en las misiones) que llevaba a tener como principio la armonía en todo aspecto, y razones más prácticas emanadas de las experiencias previas en la construcción de obras hidráulicas, que llevaban a no actuar sobre el ambiente más de lo estrictamente necesario si se pretendía que la obra se mantuviera en el tiempo y fuera lo más económica posible. Lo descrito es el punto de partida para planificar medidas que aseguren su preservación, recuperación y conservación. Por otro lado, la declaración de la UNESCO recomienda "realizar esfuerzos adicionales para la identificación y la conservación de los sistemas hidráulicos dentro de las áreas nominadas como patrimonio". Con este objetivo se realizaron estudios para la conservación y recuperación de los sistemas hidráulicos de cuatro estancias: Caroya, La Candelaria, Santa Catalina y Alta Gracia. Se determinaron las características hidrológicas e hidráulicas y se realizaron los estudios batimétricos y topográficos. Los cálculos de estabilidad de los cierres. Se compararon estos Tajamares con antecedentes en Asia y Europa. En este artículo se presentan los estudios y relevamientos realizados para comprender su funcionamiento y las recomendaciones surgidas de los estudios realizados tendientes a su resguardo, protección y conservación, tanto desde el punto de vista hidráulico y estructural, como patrimonial.

Palabras claves: diseños, hidráulicos, sistemas, patrimonio, presas, antiguas, estructuras, ambiente

Abstract:

The Society of Jesus is a religious order that set in the city of Córdoba, Argentina, close to its founding in 1573, establishing a unique social-cultural system that marked the development of the province. The Jesuits were major contributors to science, technology and the arts, building water systems for the irrigation of agricultural land and the use of hydraulic power. In Córdoba's Jesuit "Estancias": Caroya (1616), Alta Gracia (1622), Santa Catalina (1643) and La Candelaria (1683), artificial dams were built called "Tajamares", constituting the oldest artificial reservoirs in the province of Córdoba. The reservoirs were designed to optimize the use of local water resources. All are preserved, some of them still operate today keeping the functions for which they were created, others changed their purpose or are currently out of use, but all the dams are still standing. The care of these hydraulic structures requires studies to establish the current status and ensure proper operation of the reservoirs. These hydraulic works made by the Jesuits are integrated into the natural environment generating minimal impacts. It is likely that this was due to the combination of two factors: the utopian vision of the enterprises of the "Estancias" (belonging to the project embodied in the Jesuit missions) that had to have the principle of harmony in every aspect, and more practical reasons arising from previous experiences in the construction of water works, leading to never acting on the environment more than was necessary, to maintain the infrastructure over time and to be as economical as possible. What has been described is the starting point for planning measures to ensure their preservation, restoration and conservation. Furthermore, the UNESCO Declaration recommends "additional efforts to identify and conserve water systems within the areas nominated as heritage." With this objective, studies were conducted for the conservation and recovery of the hydraulic systems of four "Estancias": Caroya, La Candelaria, Santa Catalina and Alta Gracia. Hydrological and hydraulic characteristics were determined and bathymetric and topographic studies were conducted. Structural analysis of the dams were performed. We compared these "Tajamares" with similar ones in Asia and Europe. This paper presents the studies and surveys conducted to understand how they work, and the recommendations arising from the analysis aimed at their care, protection and conservation, from the hydraulic and structural, as well as heritage point of views.

Keywords: hydraulic, design, heritage, water system, dams, ancient, structures, environment

* Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. santiagoreyna@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La Compañía de Jesús fue fundada por San Ignacio de Loyola en 1540, sus miembros son conocidos como jesuitas. Esta orden ocupó un lugar de importancia en la colonia española que hoy es Argentina. Se implantó en la Ciudad de Córdoba poco después de su fundación en 1573. En 1773 fueron expulsados de los territorios españoles en América por un Decreto del Rey de España, Carlos III. En este lapso, la Compañía de Jesús estableció un sistema cultural-social único en la América Hispana que marcó el desarrollo de la actual provincia de Córdoba. El sistema se organizó alrededor de las empresas educativas y espirituales de la Compañía, dando origen al Colegio Máximo en 1610, a la Universidad (hoy, Universidad Nacional de Córdoba) en 1613, al Colegio Convictorio de Nuestra Señora de Monserrat en 1687 y al Noviciado, que se conocen hoy como “Manzana Jesuítica”, declarada por la UNESCO, Patrimonio de la Humanidad en 2000.

Para que esto fuera posible, necesitaban un sustento económico propio. Con ese fin formaron Estancias entre el siglo XVII y principios del XVIII. En 1616 y 1618 surgieron las dos primeras: Caroya y Jesús María. Luego se incorporaron Alta Gracia (1622) y Santa Catalina (1643). Más tarde, La Candelaria (1683). Las estancias jesuíticas eran grandes establecimientos agro-ganaderos destinados a sostener económicamente la tarea que se desarrollaba en la Manzana Jesuítica. También contaban con obrajes para trabajos de carpintería, herrería, curtiembre y tejidos, jabonerías y panaderías, hornos de cal y ladrillos.

Los jesuitas produjeron importantes aportes a las ciencias, la tecnología y las artes. Además, construyeron novedosos sistemas hidráulicos para el riego de las tierras de cultivo y el aprovechamiento de la potencia hidráulica, así como también iniciaron el uso de la cal nativa en la construcción. Los sistemas hidráulicos estaban compuestos por diversas estructuras entre las que se destacaba el Tajamar o presa de embalse.

Los Tajamares jesuíticos forman parte de los diques más antiguos de Latinoamérica y son los más antiguos de la Provincia de Córdoba. Todos se conservan; algunos de ellos continúan hoy en funcionamiento manteniendo las funciones para los que fueron creados, otros cambiaron sus fines o se encuentran actualmente fuera de uso, pero todos se mantienen en pie y en condiciones de ser puestos nuevamente en funcionamiento con un mínimo de reparaciones.

Su empresa estuvo fundada en conocimientos y tecnologías que hicieron que estas obras, durante siglos abandonadas a su suerte, perduraran hasta nuestros días. Obras que se proyectaron sin cálculos, sin conocimientos formales de geotecnia, estructuras o hidrología se mantienen erguidas frente a otras, más modernas, que aun con la aplicación de nuevas tecnologías sólo dejaron algunos vestigios que terminarán por desaparecer en el tiempo. En este sentido

constituyen “Bienes Culturales”, los cuales son objetos de conocimiento y válidos de ser conservados ya que son representativos en la historia y en la evolución social, cultural, tecnológica, urbana y arquitectónica de un grupo humano, por otra parte integran las manifestaciones y testimonios significativos de la actividad humana. (García Montaña, 2004).

El cuidado de las estructuras hidráulicas requiere de estudios para establecer el estado actual y asegurar el funcionamiento de estos embalses. Este es el punto de partida para planificar medidas que aseguren su preservación, recuperación y conservación. Por otro lado, la declaración de la UNESCO recomienda “realizar esfuerzos adicionales para la identificación y la conservación de los sistemas hidráulicos dentro de las áreas nominadas como patrimonio”.

Con este objetivo se realizaron estudios para la conservación y recuperación de los sistemas hidráulicos de cuatro estancias: Caroya, La Candelaria, Santa Catalina y Alta Gracia.

Se determinaron las características hidrológicas e hidráulicas, se realizaron los estudios batimétricos y topográficos. Se caracterizaron los sistemas hidráulicos y se realizaron los cálculos de estabilidad de los cierres. Se compararon estos Tajamares con antecedentes en Asia y Europa.

Caracterización del Ambiente

La zona geográfica donde se asentaron las estancias jesuíticas corresponde a las Sierras Pampeanas. Son antiguas y de poca altura. La zona serrana está caracterizada por una gran abundancia de ríos, arroyos y vertientes. Estos cauces presentan en su mayoría recorridos en dirección oeste-este presentando máximos caudales durante el verano, con crecidas violentas e inesperadas tras las lluvias.

Con respecto a las características climáticas en la zona, las lluvias son abundantes desde mediada la primavera hasta mediado el otoño; el semestre frío, en cambio, acusa escasas precipitaciones. Las precipitaciones medias anuales van desde los 600 a 900 milímetros.

La evapotranspiración potencial en la región de la Provincia de Córdoba fluctúa entre los 880 y los 1080 milímetros anuales.

Los Sistemas Hidráulicos de las Estancias

Debido al déficit hídrico de la zona, las primeras obras de los jesuitas dentro de las estancias fueron de ingeniería hidráulica. Sus sistemas hidráulicos tenían por finalidad el suministro de agua para riego de sus campos y huertas y suministro de energía para el movimiento de sus molinos y batanes. Dentro de la estancia, el agua era utilizada para uso doméstico y cumplía además la función de recolección de aguas servidas.

La propuesta de establecer embalses, no sobre los cauces, sino en derivación, lejos de los ríos y reali-

zar la alimentación de estos espejos de agua sólo a través de obras de toma y canales de conducción, resolvía el problema de las crecidas violentas e inesperadas que caracterizan a los cauces de la zona. Esta elección les permitió a estas obras no sólo sub-

sistir en sus días de producción sino perdurar hasta nuestros días.

Un resumen de los tajamares estudiados se presenta en la Tabla 1.

Tabla1. Resumen de las principales características de los embalses

	Año de construcción	Altura del cierre (m)	Volumen del embalse (m³)	Superficie del espejo (Ha)
Santa Catalina	1622	8,40	57000	6,71
Alta Gracia	1643	5,00	29500	2,53
Colonia Caroya	1616	2,20	4500	0,50
La Candelaria	1683	2,20	5500	0,50

En general se pueden dividir en dos grupos de acuerdo a la magnitud de las obras de cierre y el tamaño de sus embalses. Los Tajamares de Santa Catalina y Alta Gracia tienen magnitudes de los embalses y dimensiones de los cierres similares entre sí; lo mismo ocurre entre los Tajamares de Caroya y La Candelaria. Otra similitud se presenta en que las dos primeras se encuentran actualmente con sus espejos de agua y los últimos dos (quizás debido a sus escasas dimensiones) se encuentran vacíos. Además todos los cierres fueron construidos con mortero de cal y cantos y materiales sueltos para relleno.

A continuación se describe el estado actual de las Estancias y sus sistemas hidráulicos.

Estancia Santa Catalina (1622)

La Estancia y su Tajamar siguen rodeados de un paraje de tipo rural, con zonas de campos y casas de veraneo, pero su imagen se mantiene intacta. El sistema de toma, alimentación por canales y descarga sigue funcionando aunque ha experimentado algunos problemas de derrumbes al igual que el muro que en a principios del año 2003 presentó problemas, encontrándose puntos con hundimientos. Se le realizaron tareas para su recuperación. Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 1. En la figura 2 se observa una vista del Tajamar de Santa Catalina.

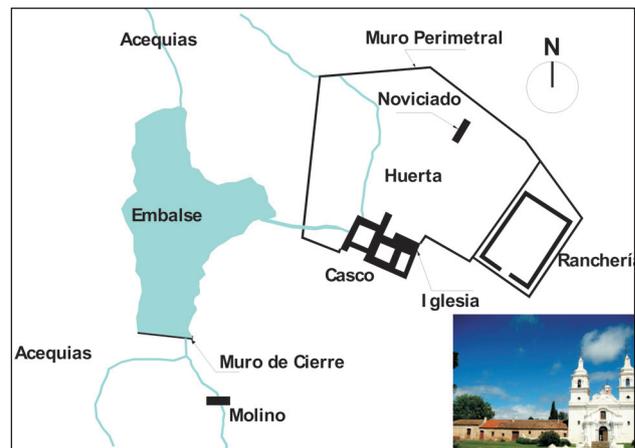


Figura 1. Esquema de distribución de la Estancia Santa Catalina



Figura 2: Vista del Tajamar Santa Catalina

Estancia Alta Gracia (1643)

La estancia y su Tajamar dieron origen a la actual Ciudad de Alta Gracia. El sistema hidráulico de alimentación y el de descarga han desaparecido bajo la trama urbana, pero el Tajamar sigue con su espejo y le confiere a la Ciudad una imagen única con la que es reconocida en todo el país. El suministro de agua al embalse se realiza actualmente por un conducto de PVC de 110 mm de diámetro que toma agua del acueducto que alimenta la planta de potabilización de la Ciudad de Alta Gracia. Este embalse sufrió una serie de transformaciones en la primera mitad del siglo XX: se disminuyó su cota original y su perilago se parqueizó con fines de recreación que aún hoy se mantiene. Además, en el año 1938, en el extremo sudeste del embalse se demolió una parte del muro de cierre original para construir una explanada y sobre este un "Reloj Público" como monumento a los 350 años de la ciudad. En la figura 3 se observa la disposición de las estructuras y la ubicación del reloj.

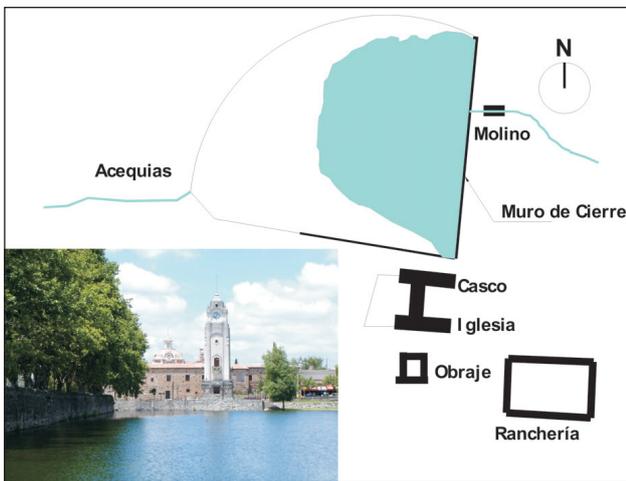


Figura 3: Ubicación de las estructuras principales de la Estancia de Alta Gracia.

Sobre el coronamiento del cierre se encuentra construida una calle asfaltada con tránsito vehicular importante; y su espaldón es un relleno de material suelto en terraplén. La calle se encuentra sostenida por una viga que corre paralela al muro de cierre en toda su extensión y puntales cada seis metros. En el terraplén se encuentra: una zona de gradas de hormigón, un edificio, tolvas de hormigón, los restos del Molino del Tajamar y viviendas privadas. La disposición en planta de estos elementos se observa en esquema de la figura 4.

La cara de aguas arriba del cierre original respondería a las siguientes características: muro de lajones planos bien acomodados unidos con mortero de cal de pequeñas juntas; es de un ancho de sección de aproximadamente 1 m; sobre el mismo se observa un recrecimiento del muro con características muy diferentes a las anteriores: piedras de gran tamaño y juntas de mayores dimensiones que las anteriores y de un ancho de sección menor (0,80 m). En la zona del muro, aproximadamente entre el molino y la tolva de hormigón, este recrecimiento se encuentra destruido (Figura N° 5).



Figura 5: Zona del muro principal con el recrecimiento destruido.

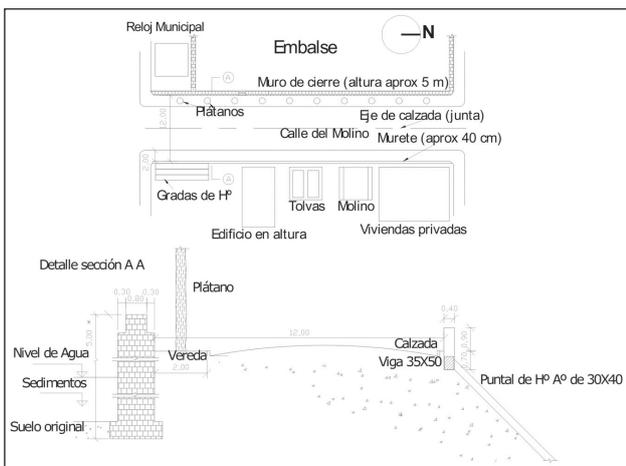


Figura 4. Ubicación de las estructuras en la zona del muro



Figura 6: Encuentro entre el muro nuevo y el original en la zona aledaña al reloj.

Según los registros de la Municipalidad de Alta Gracia, el muro original fue destruido en la zona próxima a la estancia (una parte del cierre perpendicular y un cierre lateral) y se construyó uno nuevo con el objeto de disminuir el área ocupada por el embalse (ver figura N° 6)

El muro de cierre ha presentado problemas de filtraciones y desmoronamiento y es aún motivo de monitoreo y reparaciones menores. También se presentaron grietas sobre el pavimento de la calle. La dirección de las mismas son en sentido longitudinal y en la dirección de la calzada. Se realizaron estudios para determinar el grado de estabilidad a la que se encuentra actualmente.

Estancia de Caroya (1616)

En sus cercanías se asienta actualmente la Ciudad de Colonia Caroya. La Estancia con el paso de los tiempos fue utilizada para diversos fines como el de fábrica de armas blancas (tiempo durante el cual se utilizaba el agua del Tajamar para la fragua) y hospedaje de inmigrantes. En la actualidad su tajamar se encuentra en buenas condiciones, pero vacío. Sus canales de ingreso y evacuación han desaparecido y no se conoce con exactitud cuál era el sitio de la obra de toma original. Algunos historiadores definieron sitios que, luego de los estudios topográficos y análisis hidrológicos se debieron descartar.

Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 7.

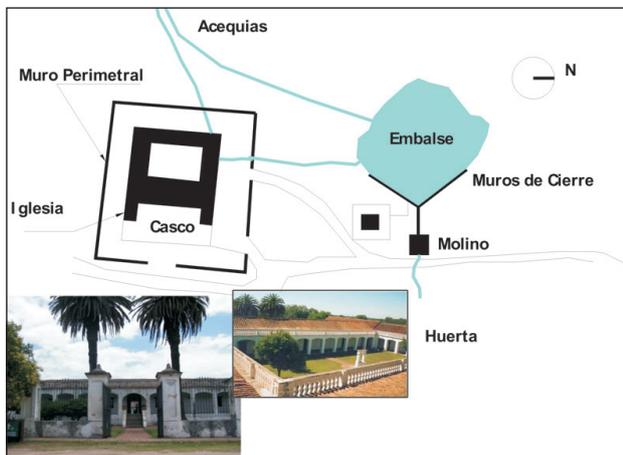


Figura 7. Esquema de distribución de la Estancia Caroya

Estancia de La Candelaria (1683)

Esta estancia está asentada en un paraje inhóspito de las sierras de Córdoba. Aún hoy el acceso a la misma es dificultoso. Su sistema hidráulico está desaparecido o destruido (exceptuando la presa). No se conoce con exactitud el sitio de la obra de toma, pero aún se conserva una parte importante de los muros del tajamar.

Un esquema de distribución de la Estancia se observa en la figura 8.

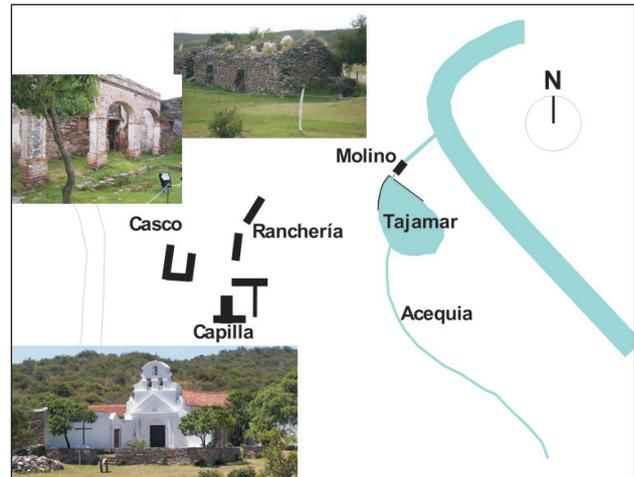


Figura 8. Esquema de distribución de la Estancia de La Candelaria

La figura 9 muestra la zona de implantación de la Estancia La Candelaria



Figura 9. Zona de implantación de la Estancia La Candelaria

Se describen, analizan y comparan en los puntos siguientes los distintos elementos que conformaban los sistemas hidráulicos para cada una de las estancias.

Obras de captación

Para la optimización y el aprovechamiento del recurso hídrico, los jesuitas construyeron muros para derivación sobre los cauces. Las ubicaciones elegidas eran secciones de control naturales en zonas de cotas dominantes, con lechos rocosos aflorantes (que le daban estabilidad e impermeabilidad al cierre) sobre los que se asentaban los muros.

Estos diques se levantaban con piedras asentadas con mortero de cal y daban origen a un sistema de represas que finalmente descargaban en un canal o acequia que llevaba agua hasta los tajamares. Estas obras constituían auténticas presas de derivación.

Para el caso de la obra de Santa Catalina, el sistema nace en una toma ubicada hacia el oeste de la Estancia a unos 5 km sobre el Río Simpjis (o Santa Catalina). Allí se construyó un azud nivelador con dos cierres que aún hoy se conservan (figura 10). La obra de toma se encontraba regulada por una compuerta rectangular.

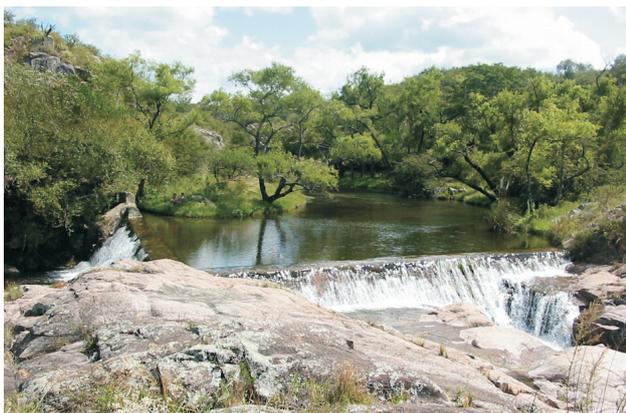


Figura 10. Vista del azud y sus dos cierres. La obra de toma se encuentra en el extremo derecho del muro de cierre construido sobre margen derecha

En la Estancia Alta Gracia, el sistema nacía en una toma ubicada sobre el río Los Paredones. Allí se construyó un dique de contención conocido como 1° Paredón que se conserva en buenas condiciones. Aguas arriba de éste se ubica otro muro de proporciones importantes, con un ancho y doble muro de piedra; se cree que esta obra está inconclusa y se la conoce como 2° Paredón. Actualmente no quedan vestigios del canal derivador. Tampoco quedaron vestigios de las obras de captación de los Tajamares de las Estancias La Candelaria y de Caroya.

Sistemas de acequias

En lo referente a los canales y obras de conducción en general, con muy buen criterio los cambios de régimen hidráulico se realizaban en estructuras revestidas, se conducía el agua fundamentalmente en régimen subcrítico, y los tramos supercríticos, o rápidas, eran cortos y también revestidos. Los canales principales se llevaban con la mínima pendiente necesaria para garantizar dominancia para riego sobre la mayor superficie posible.

El sistema más importante estudiado correspondía al de la Estancia Santa Catalina; desde el azud, el agua es conducida por medio de una acequia de media ladera que luego se divide en dos. Sortean en su recorrido de 7 km accidentes de relieve por medio de

conductos subterráneos de dimensiones importantes (verdaderas obras de arte) y alternan en todo su trayecto tramos a cielo abierto con otros subterráneos, con soleras revestidas con mampuestos de roca del lugar o ladrillos de fábrica, laterales y cierre superior de mampostería o mediante túneles excavados en roca (figura 11). Están deteriorados sólo en algunos tramos, pero en gran medida funcionando (Reyna et al., 2005).



Figura 11. Vista de un tramo de acequia abovedada y revestida.

En la Estancia de Alta Gracia, desde la obra de toma ubicada en Los Paredones, el agua era conducida por medio de una acequia no revestida, desde la cual se regaba también la huerta. En la actualidad esta acequia casi ha desaparecido debido al crecimiento de la ciudad, quedando sólo algunos vestigios de su paso. Quedan también restos aislados de las obras de toma y conducción para los Tajamares de las Estancias La Candelaria y de Caroya.

Los Embalses

El principal aspecto que se destaca en estos Tajamares es que todas las obras son "laterales", es decir no embalsan sobre el cauce del río sino que lo hacen en vasos alejados, alimentados a través de una derivación. Esta manera de embalsar les permitía resolver el problema de seguridad de la presa (garantizando la permanencia de la obra) que se presentaba con la ocurrencia de grandes avenidas, por lo que no necesitaban estructuras de descarga de importancia para dar seguridad a la obra contra el rebasamiento. La elección de embalses laterales tenía también la ventaja de no actuar como barrera sobre el cauce, evitando generar deposición de sedimentos en el embalse con su consecuente disminución del volumen útil.

Respecto a la seguridad, las obras de almacenamiento de envergadura no están aguas arriba de las construcciones de valor y poblaciones, sino que están aguas abajo, lo que limitaría los daños en caso de falla.

Los Muros de Cierre

Al igual que las presas derivadoras, los muros de los cierres se realizaron todos sobre la roca aflorante, solucionando el problema de filtraciones y subpresiones. Los conductos de descarga profunda de las presas (descargadores de fondo) estaban apoyados directamente sobre la roca de fundación, esto evitaba posibles roturas con daños a la presa.

De un estudio preliminar, fue posible distinguir en los muros de cierres de las estancias dos tipos de diseño:

- Un muro de piedra con mortero de cal con terraplén de sostenimiento aguas abajo: este cierre se observaba en los Tajamares de Caroya, La Candelaria (y se pensaba originariamente que era también el caso de Alta Gracia). Las dos primeras son presas de pequeñas dimensiones.
- Dos muros de piedra paralelos con mortero de cal, y suelo compactado entre ellos que se observaba en el cierre de Santa Catalina. Ésta demostró también ser la tipología seguida para la presa de Alta Gracia (descubierto luego de excavaciones realizadas al efecto).

Teniendo en cuenta las fechas de la construcción de los tajamares, se buscaron antecedentes a fin de poder plantear análisis estructurales de los muros de cierre de las Estancias. De los antecedentes estudiados, se encuentra que las más representativas que pueden haber influido en el diseño encontrado en los muros de las mencionadas estancias, son algunas presas de origen árabe y otras de origen español post medievales.

En lo constructivo, se destaca el cuidado seguido de las reglas del buen arte del oficio. Esto garantizaba que los diseños sobre base empírica tuvieran respuesta similar a los ejemplos sobre los cuales se basaban.

Primer Grupo

El primer grupo formado por los cierres de las Estancias de Caroya y La Candelaria (cierres más chicos).

Los antecedentes más representativos son las del origen romano que consistían en un muro de retención con un espaldón de tierras aguas abajo. En algunos casos, a fin de evitar la rotura del muro, se le daba gran dimensión y era escalonado hacia aguas abajo, o en el caso de ser de escasa dimensión, se agregaban contrafuertes del lado de aguas arriba, para evitar la rotura bajo el empuje del terraplén cuando se encontraba con la condición de embalse vacío (Schnitter, 2000). Ejemplos de cierres con características similares son los cierre de presa de Ternavaso (año 1600) y Granjilla 2 (año 1560).

También se llevó a cabo el análisis de estabilidad de los muros de cierre de ambas Estancias considerando la geometría que presentan. Se determinaron

posibles mecanismos de falla y establecieron características de los materiales. Para ello se determinaron los límites de plasticidad, granulometrías, consistencia, impermeabilidad, estabilidad en el tiempo (Reyna et al., 2005). Los resultados mostraron que las estructuras verifican a la estabilidad, con y sin embalse.

El cierre del Tajamar de Alta Gracia no verificó estabilidad bajo estas condiciones, lo que implicaba que existían elementos estructurales no considerados (lo que llevó a considerar la posible existencia del muro paralelo de aguas abajo).

Segundo Grupo

En el segundo grupo se encuentran los cierres de las Estancias de Santa Catalina y Alta Gracia (según luego se demostró), el primero de dimensiones más importantes, cuyos diseños de cierre responden al tipo de la presa de Thalba (Siglo VII), Arquis (1704) y Carom (1766) (Smith, 1992). Son presas del tipo de gravedad, con dos muros exteriores de mampostería en seco y un núcleo de tierra entre ellas (figura 12). En estos cierres la impermeabilidad estaba dado por el muro aguas arriba. La capacidad de oponerse al empuje hidrostático la realizaban en conjunto los dos muros y el material del relleno.

Este grupo sigue el diseño empleado por las de origen árabe. De las mencionadas, la que más responde es la presa de Thalba construida cerca de La Meca en Arabia Saudí en el siglo VII.

El desconocimiento de la interacción de materiales con características estructurales y reológicas muy diferentes (como los suelos de relleno, enrocados y muros de cal y canto) llevó a problemas en el tiempo, con deformaciones distintas para los distintos materiales, lo que implicó sobrecargas sobre los más rígidos y hoquedades sobre los materiales sueltos. Los problemas asociados al uso de materiales muy diferentes en la construcción interactuando inadecuadamente fueron en el pasado, como en el presente, de difícil predicción y prevención.

En los puntos siguientes se presenta un análisis de las características de los cierre de las Estancias Santa Catalina y Alta Gracia.

Santa Catalina

El cierre es un dique de gravedad compuesto de dos paramentos verticales de mampostería de piedra de 8,40 m de altura máxima en la cara seca; de aproximadamente 60 cm de espesor cada uno y separados unos 5,4 m., con contrafuertes sobre la cara seca. Entre ellos tiene un relleno de suelo del lugar compactado. La longitud del coronamiento es de 86,5 m. La superficie es de 6,7 Ha y su volumen es de 57000 m³.

A principios del año 2003 se presentaron problemas con el material suelto de relleno que existe entre los paramentos de aguas arriba y abajo. En particular,

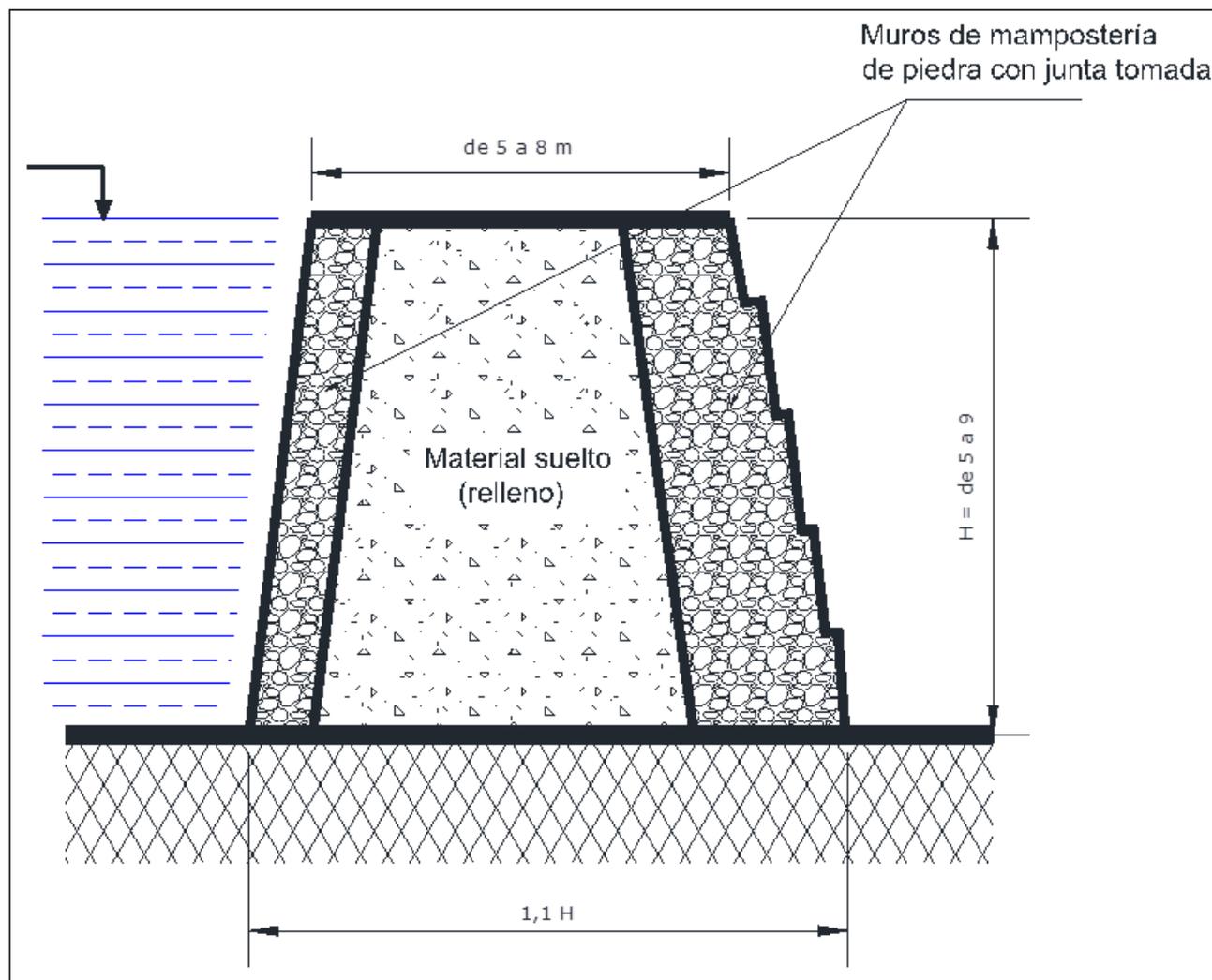


Figura 12. Esquema de muros de mampostería

se encontraron dos puntos con hundimientos, uno ubicado en coincidencia con la obra de descarga, con material faltante que pudo ser debido a pérdidas de agua con su correspondiente lavado de material.

Se debió vaciar el Tajamar y excavar en forma manual, sin el empleo de maquinarias pesadas. Completada la reparación de la descarga, se relleno la excavación en capas, utilizando una mezcla de suelo cemento de consistencia de barro blando para evitar los esfuerzos de tracción a que se hubieran visto sometidos los muros durante la compactación que hubiera sido necesaria en caso de utilizar otro material.

Alta Gracia

El muro de cierre es de 176 m de largo por 5 m de altura desde el fondo del embalse hasta el coronamiento. Su volumen actual es de 29500 m³ (muy disminuido con respecto a su volumen original). Presentaba a la vista, como sección actual, un muro de cierre aguas arriba y un terraplén de apoyo. (Como se mencionó anteriormente, la investigación del sitio llevó a encontrar otro muro paralelo al de aguas arriba, entre los que se encontró suelo de relleno; sobre

este muro de aguas abajo apoya el terraplén). En la actualidad, por encima de este relleno, entre los dos paramentos de mampostería de piedra, circula una calle pavimentada con tránsito vehicular (Reyna et al., 2006).

El Terraplén ha presentado desmoronamientos y es aún motivo de monitoreo y reparaciones menores por parte de las autoridades municipales. También se presentaron grietas sobre el pavimento de la calle que circunscribe al Tajamar. La dirección de las mismas son en sentido longitudinal y en la dirección de la calzada.

Se realizaron análisis de estabilidad al cierre con estas características, encontrándose que no era estable en las condiciones relevadas, lo que llevó a plantear la posibilidad de que la sección original no fuera la que se observaba en la actualidad y que debía existir algún tipo de elemento no considerado que le confiriera estabilidad.

Del estudio de las referencias bibliográficas de presas de la época y análisis de estabilidad, se encontraron algunos antecedentes importantes que plantearon las hipótesis a considerar respecto de la forma de trabajar del tajamar estudiado. Las características

del cierre respondían bastante bien al diseño adoptado en Santa Catalina. Si éste era el caso, debía existir un segundo muro bajo la actual calzada a una distancia aproximada de 6 metros del muro visible.

Esta suposición permitía explicar las distintas fisuras desarrolladas sobre la calzada y el desmoronamiento del terraplén. Se podría explicar que la primera parte de la calzada no se deforma ni está fisurada porque se encuentra asentando sobre dos muros, en tanto que la segunda parte está colgada sobre el muro enterrado y el terraplén, el cual al estar inestable ocasiona el asentamiento y las fisuras longitudi-

nales sobre la calzada, pero no implican inestabilidad en el muro visible del tajamar.

Frente a tantos elementos que convalidaban la posible existencia de un segundo muro, se realizó una excavación exploratoria en la zona (figura 13).

La distancia a la que se comenzó la excavación se fijó en 6 metros desde el muro de aguas arriba, que se corresponde con la distancia entre los muros del Tajamar de Santa Catalina y es coincidente con la deformación del pavimento. La excavación convalidó la hipótesis, encontrándose el muro que los análisis de estabilidad y bibliográficos predecían.

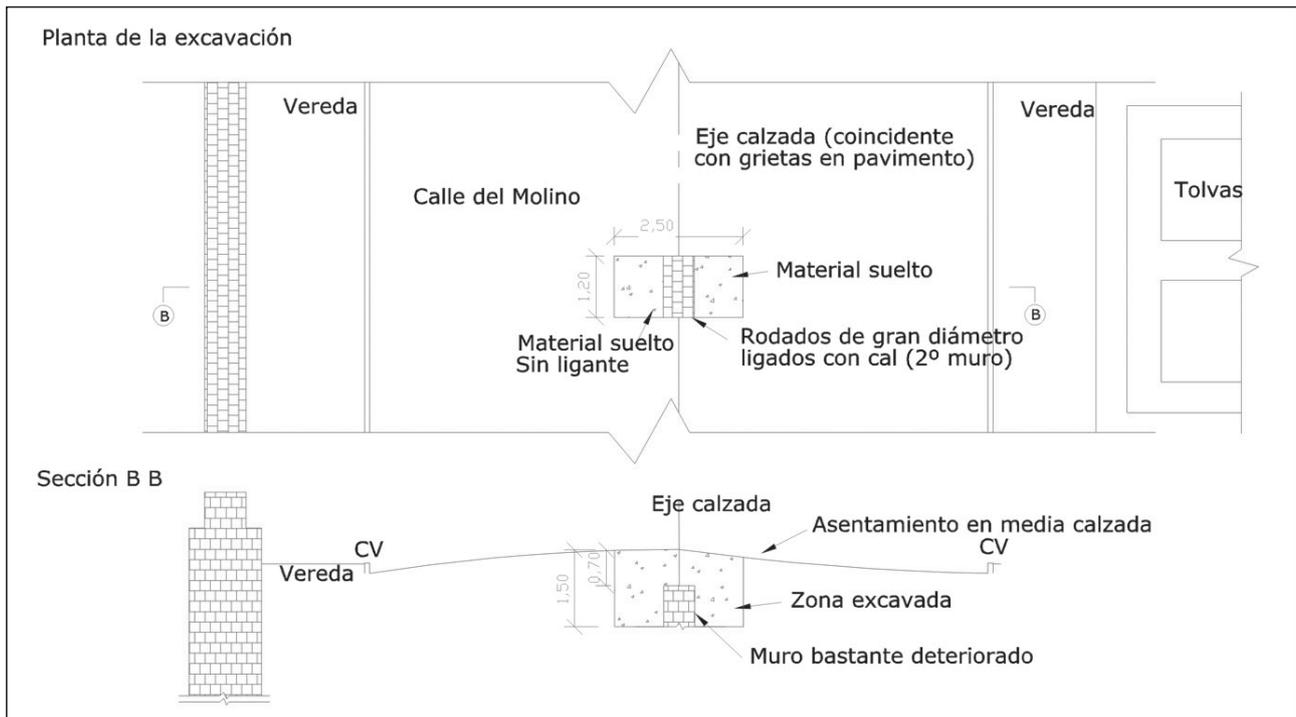


Figura 13. Esquema de ubicación en planta y corte de la zona de excavación

Las Obras de Descarga

Las salidas del agua del embalse estaban reguladas por una compuerta ubicada sobre el paramento mojado. La descarga en todos los Tajamares se producía a través de un conducto abovedado de ladrillo que contenía una rápida con el fin de acelerar los caudales para ingresarlos al molino o al batán que se encontraban a la salida de la misma. Luego de pasar por estos aprovechamientos eran conducidos por canales abiertos sin revestimientos para el riego de campos y huertas.

En Santa Catalina, la salida está regulada por una compuerta ubicada sobre el paramento mojado. La descarga se produce a través de un conducto abovedado de ladrillo de 0,60 m de altura. La misma comienza en una rápida, luego continua con un salto para luego terminar en un tramo horizontal. Se encuentra en buenas condiciones y funcionando.

La obra de descarga en Alta Gracia es de características similares a Santa Catalina; se encuentra en malas condiciones y actualmente sin funcionar.

En el Tajamar de Caroya la estructura se encuentra en buenas condiciones pero sin funcionar.

En La Candelaria, debido a la ubicación en el predio de la descarga, el Tajamar sólo suministraba agua para el molino y el batán, no encontrándose espacio para huertos aguas abajo. El riego se debía realizar por derivaciones antes del ingreso al embalse.

CONCLUSIONES

Es importante destacar el diseño amigable con el ambiente de las obras realizadas en las Estancias Jesuíticas en estas zonas de Córdoba. Las mismas se integran al ambiente natural generando los mínimos impactos posibles. Es probable que esto haya sido consecuencia de la conjunción de dos factores: la visión utópica de los emprendimientos de las Estancias (pertenecientes al proyecto jesuítico encarnado en las misiones) que llevaba a tener como principio la armonía en todo aspecto, y razones más prácticas emanadas de las experiencias previas en

la construcción de obras hidráulicas, que llevaban a no actuar sobre el ambiente más de lo estrictamente necesario si se pretendía que la obra se mantuviera en el tiempo y fuera lo más económica posible.

En lo hidráulico, se destacan varios aspectos. En el diseño, todas las obras son "laterales", es decir no embalsan el río en su propio cauce sino que lo hacen en vasos auxiliares a través de una derivación. Esta manera de embalsar tiene las ventajas de no retener sedimentos (los vasos están poco embancados aún considerando el tiempo transcurrido) y de no tener que resolver el problema de las grandes avenidas, lo que llevaría a la necesidad de obras de evacuación de importancia y de conocimientos hidrológicos no disponibles en la época. En lo referente a los canales y obras de conducción en general, con muy buen criterio los cambios de régimen hidráulico se realizaban en estructuras revestidas, se conducía el agua fundamentalmente en régimen subcrítico, y los tramos supercríticos o rápidas eran cortos y también revestidos. Las obras de toma o azudes se hacían en secciones de control naturales, lo que daba la ventaja de la cota y la estabilidad del lecho. Los canales principales se llevaban con la mínima pendiente necesaria para garantizar dominancia para riego sobre la mayor superficie posible. En lo atinente a la seguridad, es interesante ver que las obras de almacenamiento de envergadura no están aguas arriba de las construcciones de valor y poblaciones, sino que están aguas abajo, lo que limitaría los daños en caso de falla.

En lo geotécnico, el aspecto más importante a resaltar es que las obras de magnitud se realizaron todas sobre la roca aflorante. Los conductos de descarga profunda de las presas (descargadores de fondo) estaban apoyados directamente sobre la roca de fundación, esto evitaba posibles roturas con daños a la presa. Por otro lado, el desconocimiento de la interacción de materiales con características estructurales y reológicas muy diferentes (como los suelos, enrocados y muros de cal y canto) llevó a problemas en el tiempo, con deformaciones distintas para los distintos materiales, lo que implicó sobrecargas sobre los más rígidos y hoquedades en los más débiles (suelos). Los problemas asociados al uso de materiales muy diferentes en la construcción, interactuando inadecuadamente, fueron en el pasado, como en el presente, de difícil predicción y prevención.

En lo constructivo, se destaca el seguir con cuidado las reglas del buen arte del oficio. Esto garantizaba que los diseños sobre base empírica tuvieran respuesta similar a los ejemplos sobre los cuales se basaban. La calidad de la construcción era excelente en las obras que sobrevivieron.

En resumen, diseños amigables con el ambiente, basados en el conocimiento empírico, que evitaran los imponderables más influyentes sobre la seguridad de las presas, crecidas (hidrología) y características de las fundaciones (geotecnia), y el seguimiento de diseños probados por la experiencia con muy buena calidad constructiva.

Finalmente, es necesario mencionar que las autoridades que administran en la actualidad los Tajamares Jesuíticos deben realizar la tutela hidráulica y ambiental, con la aplicación correcta de la normativa vigente. De la mejor manera posible y de forma continua deben planificar, coordinar y controlar las variables hidráulico - ambientales, permitiendo para ello las múltiples interacciones necesarias. Poner en funcionamiento y revalorizar los tajamares dará la posibilidad de valorizar estos bienes en su más amplia concepción lo cual traerá consigo beneficios adicionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García Montaña, Clara. 2004. "Fundamentos de la Interpretación integral y crítica del patrimonio cultural". Congreso Internacional Patrimonio Cultural. 2004. Universidad Nacional de Córdoba y Centro Cultural Canadá Córdoba.

Oñate, J.J., Pereira, D., Suárez, F., Rodríguez, J.J. y Cachón, J. 2002. Evaluación Ambiental Estratégica: La evaluación ambiental de Políticas, Planes y Programas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 382 pp. ISBN: 84-8476-013-8.

Reyna, S.; Reyna, T.; Reyna, E.; Labaque, M.; Santucho, P.; Murialdo, R.; Pesci H. 2005. "Determinación de las Características Hidrológicas, Hidráulicas, Morfométricas y Ambientales de los Tajamares de las Estancias Jesuíticas de Alta Gracia y Santa Catalina - Patrimonio de la Humanidad", Informe de Proyecto SECyT, Córdoba.

Reyna, S.; Reyna, T.; Reyna, E.; Labaque, M.; Santucho, P.; Murialdo, R.; Pesci H. 2006. "Caracterización del Muro de Cierre del Tajamar de Alta Gracia, Patrimonio Mundial de la Humanidad". VIII Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. Buenos Aires.

Schnitter, N. 2000. "Historia de las Presas". Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería N° 60. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid

Smith, N. A. 1992. "The Heritage of Spanish Dams". Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería N° 45. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDAL NATURAL PARA LA ASIGNACIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO VERDE, OAXACA, MÉXICO.

NATURAL FLOW REGIME FOR WATER ALLOCATION IN THE RÍO VERDE BASIN IN OAXACA STATE, MEXICO.

Sergio Rodríguez Torres* y María Antonieta Gómez Balandra**

Resumen

A nivel nacional e internacional actualmente se reconoce la necesidad de mantener los ríos saludables con regímenes naturales de caudal, ya que estos se asocian a un gran número de procesos y servicios eco-sistémicos que ofrecen los ríos. El objetivo de este trabajo fue el de integrar elementos físicos e hidrológicos de la cuenca del Río Verde, Oaxaca para identificar los umbrales de variabilidad natural, que puedan asignarse de manera mensual y estacional a las corrientes de la cuenca como caudal ecológico, bajo esquemas de aprovechamiento o presión por el agua para conservar la funcionalidad y conectividad de los ecosistemas acuáticos y ribereños. La cuenca del Río Verde en el suroeste de México, abarca una superficie de 18,366 km², con una longitud de 240 km y 5^o. Orden en la corriente principal, con pendientes de 0.5 a 2.6% en los arroyos y afluentes. Se aplicó la metodología hidrológica de TNC (IHA-RVN) para establecer los umbrales de variabilidad en 12 estaciones hidrométricas, con periodos de registro de 15 a 45 años. El caudal medio anual en estas estaciones es de 0.89 a 161.5 m³/s con un escurrimiento medio anual total de la cuenca de 5,782 Mm³. Los análisis intra-anual e histórico inter-anual definieron los umbrales mensual y estacional con sus valores máximos y mínimos, identificando la variabilidad para diferentes períodos de interés para los ecosistemas (1, 7, 30 y 90 días). Para definir una estrategia de caudal ecológico ya sea para la extracción o cuando se cause alteración del régimen por derivaciones o generación hidroeléctrica, es importante identificar las características físicas de las corrientes y los patrones históricos del régimen de caudal para tratar de reproducir la variabilidad estacional en términos de su magnitud, duración, temporada y tasa de cambio; además de considerar la frecuencia de cada tipo de año (seco, medio y húmedo). En este trabajo se aplicaron también los métodos generales de la norma de Caudal Ecológico NMX-AA-159-SCFI-2012 para obtener los porcentajes de referencia como volúmenes anualizados para orientar la planeación del aprovechamiento y usos del agua en la cuenca del Río Verde, Oaxaca.

Palabras clave: Caudal Ecológico, Régimen Natural, Norma Mexicana, Río Verde, Oaxaca.

Abstract

At national and international level it is recognized the urgent need to maintain healthy rivers with natural flow regimes since these are associated to large number of natural processes and eco-systemic services offered by rivers. The main objective of this study was to integrate physical features and hydrological patterns in the Rio Verde, Oaxaca, México to identify thresholds of natural flow variability that can be allocated monthly and seasonally to the basin streams under water extractions or pressure schemes to maintain functionality and connectivity of aquatic and riparian ecosystems. The Rio Verde basin in southwest Mexico has an area of 18,366 km², 240 km and 5^o order in the main channel with slopes among 0.5 to 2.6% in creeks and tributary streams. The hydrological methodology IHA-RVN developed by TNC, was applied to establish flows variability thresholds in 12 hydrometric gauges, using data records from 15 to 45 years. The mean annual flows at hydrometric gauges are among 0.89 a 161.5 m³/s and mean annual volume in the total basin 5,782 Mm³. Both, intra-annual and historical inter-annual analysis defined the monthly and seasonal minimum and maximum thresholds, identifying the variability for different time periods of interest for ecosystems (1, 7, 30 and 90 days). To define an environmental flow strategy either for large extractions or when a derivation o hydropower generation cause flow alteration, it is important to identify the river physical features and historical pattern to try to reproduce flows' seasonal variability in terms of magnitude, duration, timing and rate of change as well as the frequency for each kind of hydrological year (dry, medium and rainy). General methods of the Mexican standard for Environmental Flows NMX-AA-159-SCFI-2012 were applied to obtain reference values as annual volumes for the environment to guide the planning stage of potential use and water allocation in the Rio Verde basin in the Oaxaca state.

Key Words: Flow, Natural Regime, Mexican Standard for Environmental Flows

* Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ingeniería Ambiental, Campus Morelos. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. Tel.: +52 (777) 329 3600. Ext. 317. E-mail: sergiorodriguez@outlook.com

** Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. Tel.: +52 (777) 329 3600. Ext. 317.

Recibido: 25/05/2013
Aceptado: 20/06/2013

INTRODUCCIÓN

El régimen natural de variabilidad de un río representa la cantidad y duración de los flujos de agua necesaria para mantener la estructura, función y capacidad de recuperación de los ecosistemas de agua dulce, que en muchos casos son los medios de subsistencia de las comunidades humanas que dependen de ecosistemas saludables (Poff et al., 2010) (Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, 2003) (TNC, 2011) (Brisbane, 2007). Mantener el régimen hidrológico natural en ríos, humedales y zonas costeras, ayuda a que los ecosistemas permanezcan conectados y se conserven los beneficios para las personas (www.efflownet.org, 2012).

A nivel mundial, los problemas de disponibilidad de agua de buena calidad, han aumentado a medida que las ciudades, industrias, la agricultura y generadores de energía, compiten por fuentes limitadas de abastecimiento de agua dulce y se han agotado las fuentes de agua subterránea. Al mismo tiempo, existe una creciente conciencia de la necesidad de mantener el régimen de caudales en ríos, que se relacionan con la variabilidad hidrológica estacional de lagos, llanuras de inundación, estuarios y acuíferos a largo plazo para sustentar la biodiversidad y los beneficios que se derivan de ecosistemas sanos, inter-conectados y funcionales. (Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, 2003).

Actualmente se llevan a cabo estudios a nivel regional para determinar el régimen hidrológico y reconocer las necesidades de caudal ambiental o ecológico, en casos en los que no se pueden realizar estudios detallados para todos los tipos de ríos de una región. Se puede hacer uso de conocimientos sobre las relaciones entre caudal y ecología, que se han adquirido a través de décadas de estudios de ríos específicos y comunidades biológicas, aplicando dichos conocimientos a zonas geográficas tan grandes como un estado, una provincia, una subcuenca o una cuenca hidrológica y de este modo diseñar estándares y estrategias de manejo. (ELOHA, 2010), (Veza, Parasiewicz, Rosso, & Comoglio, 2011), (Snelder T. H., T. Datry, N. Lamouroux, S. T. Larned, E. Sauquet & Catalogne, 2013). En este trabajo, se caracterizó el régimen natural del caudal en doce estaciones hidrométricas dentro de la cuenca del Río Verde en el estado de Oaxaca y se establecieron los umbrales de variación que permitirían conservar la funcionalidad del río desde la parte alta a la desembocadura. Estos umbrales son importantes bajo esquemas de distribución, asignación o competencia por el agua y se utilizan para proponer los límites en los que debe variar el caudal ecológico (siempre bajo un régimen).

Un método hidrológico representa la base que reconoce al régimen de caudales como la variable maestra (Richter, Baumgartner, Wigington, y Braun, 1997) (Tharme, 2003) (Ahmadi-Nedushan et al., 2006) (Wood, Hannah, & Sadler, 2007)

Los umbrales resultantes se espera sean una guía para la gestión del agua, sin embargo debido al desarrollo hidráuli-

co potencial de la cuenca y a su importancia ecológica, puede requerirse la aplicación de métodos complementarios como los de preferencia de hábitat y holísticos que consideren los usos actuales y potenciales, así como la presencia de especies de valor ecológico y económico como los langostinos y peces, además de las negociaciones con los diferentes actores, incluyendo poblaciones locales y desarrolladores de infraestructura hidráulica (Tharme, 2003) (Gordon, McMahon, & Finlayson, 2004)

Como señala la normatividad recientemente emitida para México (NMX-AA-159-SCFI-2012, 2012) el objetivo principal es reconocer la variabilidad estacional e histórica del régimen y tomarlo como un marco de referencia que ayude al manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos. Su aplicación inicia con la identificación del objetivo ambiental de la cuenca por su importancia ecológica y presión de uso. A este objetivo se asocian valores o volúmenes de referencia como porcentajes del caudal o volumen medio anual (CMA). En este trabajo se incluyen estos resultados por la aplicación del método Tennant modificado por Garcia et al. 1999) y del método de la WWF (WWF y Fundación Río Arronte, 2011) ambos sugeridos en la norma señalada.

ANTECEDENTES

Disponibilidad de agua en el área de estudio

La cuenca del Río Verde pertenece a la región hidrológica número 20 Costa Chica de Guerrero, cuenta con una superficie de aproximadamente 18,365 km² y un volumen medio anual de escurrimiento de 5,784 Mm³. Se considera la cuenca más importante de esta región desde el punto de vista hidrográfico (CONAGUA, 2011) (Gómez-Martínez, 2009) (figura 1). Por la dinámica socioeconómica de la costa de Guerrero y Oaxaca es una de las zonas más activas, su crecimiento se concentra en municipios con distintos niveles de demanda agua, así como de contaminación, como son el municipio Oaxaca de Juárez (270,000 habitantes) al Noreste y el de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo (45,000 habitantes) en la desembocadura, donde además se localiza el Distrito de Riego número 110.

Esta situación repercute cantidad y calidad del agua disponible en la región y hace necesario contar con criterios que guíen su manejo adecuado. Conforme con la "Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000", que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales", la Conagua ha publicado (DOF-19/06/2007) la disponibilidad de las subcuencas hidrológicas que integran al río Verde como se muestra en la tabla 1 y figura 2.

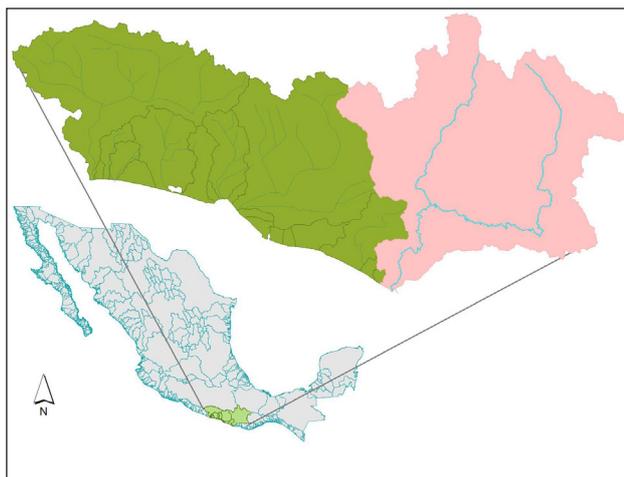


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Verde

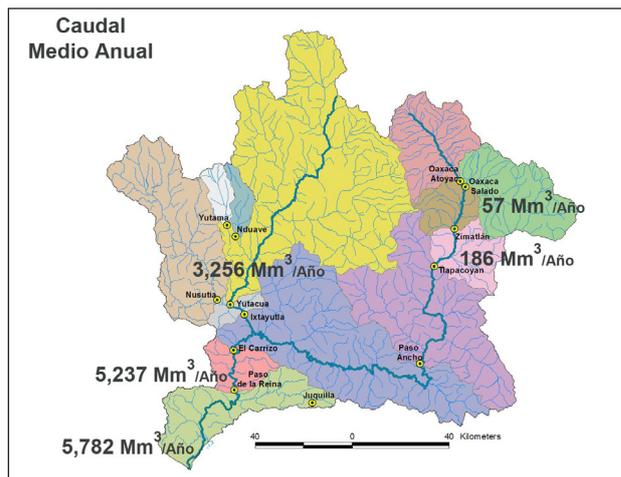


Figura 2. Disponibilidad de agua superficial en la Cuenca del Río Verde, Oax.

Tabla 1. Disponibilidad de las cuencas que conforman la cuenca del Río Verde

Subcuenca	Disponibilidad (Mm ³ /año)	Descripción del tramo o subcuenca
Río Atoyac-Salado.	57.55	Desde el nacimiento del Río Salado hasta el sitio donde se ubica la estación hidrométrica Oaxaca.
Río Atoyac-Tlapacoyan	186.09	Desde el nacimiento del Río Atoyac y donde se ubica la estación hidrométrica Oaxaca, hasta el sitio donde se localiza la estación hidrométrica Tlapacoyan.
Río Sordo-Yolotepec.	3,256.44	Desde el nacimiento de los Ríos Sordo en la zona de la mixteca oaxaqueña y Yolotepec, hasta el sitio donde se localiza la estación hidrométrica Ixtayutla.
Río Atoyac-Paso de la Reina	5,237.54	Desde las estaciones hidrométricas Tlapacoyan e Ixtayutla hasta la estación hidrométrica Paso de la Reina.
Río Verde	5,784.41	Desde la estación hidrométrica Paso de la Reina hasta la desembocadura del Río Verde o Atoyac en el Océano Pacífico.

Esta disponibilidad se asocia a la presión de uso en las cuencas (como porcentaje asignado) también publicada por Conagua y conjuntamente con la importancia ecológica dada por la presencia de Áreas Naturales Protegidas, humedales de importancia in-

ternacional (Sitios Ramsar), sitios prioritarios para la conservación (CONABIO-CONANP, 2010) y grado de alteración eco-hidrológica, clasifica a las cuencas, subcuencas o tramos con distintos objetivos ambientales (A, B, C o D) (Tabla 2).

Tabla 2. Criterios para Determinar los objetivos ambientales, NMX-AA-159-SCFI-2012.

Importancia Ecológica	Muy alta	A	A	B	C
	Alta	A	B	C	D
	Media	B	C	C	D
	Baja	B	C	D	D
	Presión de uso	Baja	Media	Alta	Muy alta

Para la cuenca en estudio estos criterios y clasificación aplican como se observa en las figuras 3, 4, y 5. A partir del objetivo ambiental se determina el porcentaje del volumen anual y el régimen de caudales

a asignarse. El objetivo ambiental para cada cuenca o tramo se incluye en la norma de la misma forma como se publica su disponibilidad.

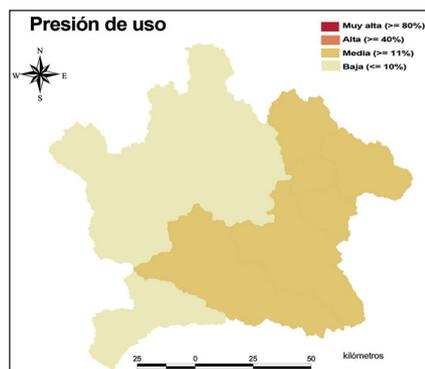


Figura 3. Presión de uso (Volumen asignado)

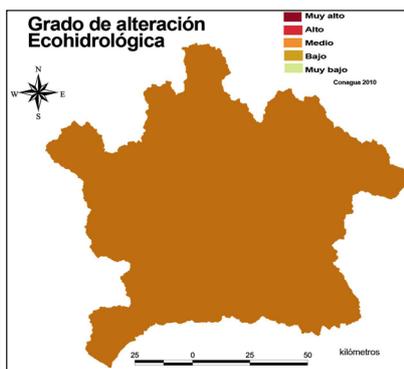


Figura 4. Alteración Eco-hidrológica

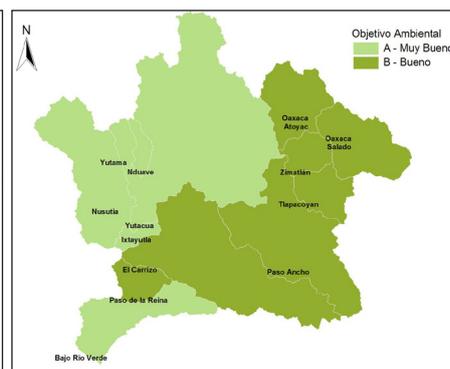


Figura 5. Objetivos ambientales

METODOLOGÍA

Información hidrométrica

Con el fin de realizar el análisis de la información hidrométrica, se identificaron las estaciones contenidas en el BANDAS (Banco Nacional de Aguas Superficiales) operadas por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) y también se obtuvo la información de las estaciones operadas por la CFE (Comisión Federal de Electricidad). El total de estaciones

fue de trece, que se distribuyen en la cuenca como se muestra en la tabla 2 y figura 6 y 7. Para el análisis se eliminó la estación de Río Juquila por contar con menos de un año de registros. Además para evitar la interpolación de datos para algunas estaciones se tomaron solo los años completos tanto al inicio como al final del período de registros.

Tabla 3. Relación de estaciones hidrométricas en la cuenca del Río Verde

Nombre	Corriente	Cuenca	Operador	Longitud	Latitud	Años de Registro
Oaxaca Atoyac	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-96° 43' 45"	17° 02' 45"	1972-1991
Oaxaca Salado	Río Salado	Río Atoyac	CONAGUA	-96° 42' 35"	17° 01' 40"	1972-1991
Zimatlán	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-96° 45' 10"	16° 52' 15"	1972-2001
Tlapacoyán	Río Atoyac	Río Atoyac	CONAGUA	-96° 50' 00"	16° 43' 50"	1972-2002
Paso ancho	Río Atoyac	Río Atoyac	CFE	-96° 53' 27"	16° 22' 00"	1957-2006
Yutama	Río Yutama	Río Yolotepec	CFE	-97° 38' 00"	16° 53' 30"	1960-1969
Nduave	Río la esmera	Río Yolotepec	CFE	-97° 36' 00"	16° 02' 55"	1954-1969
Yutacua	Río verde	Río Verde	CFE	-97° 37' 30"	16° 36' 21"	1969-2005
Nusutia	Río Putla	Río Yolotepec	CFE	-97° 40' 05"	16° 36' 03"	1969-2005
Ixtayutla	Río Yolotepec	Río Verde	CONAGUA	-97° 34' 00"	16° 33' 30"	1961-1991
El Carrizo	Río verde	Río verde	CFE	-97° 36' 55"	16° 25' 28"	1969-2006
Paso de la reina	Río Atoyac	Río Verde	CONAGUA	-97°36' 30"	16°.27'50"	1960-2005
Juquila	Río Juquila	Río Atoyac	CFE	-97° 18' 30"	16° 13' 30"	1961-1962

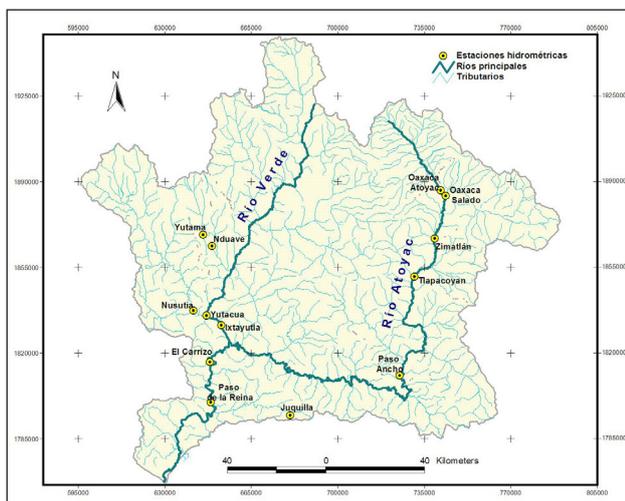


Figura 6. Hidrología Localización de estaciones hidrométricas

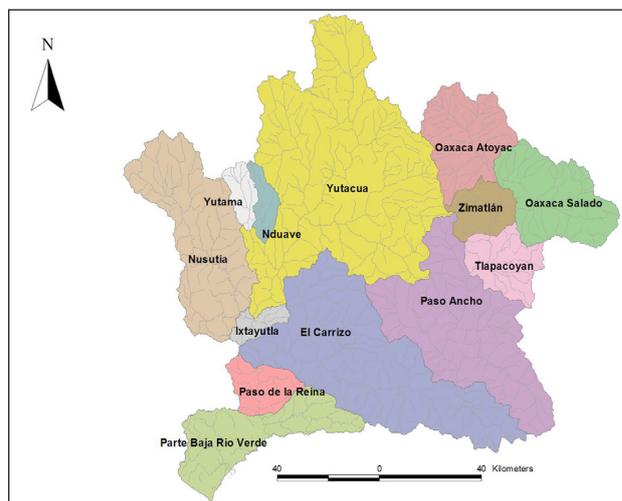


Figura 7. Determinación de subcuencas o áreas de captación de acuerdo con la localización de las E.H.

La división por subcuencas o áreas de captación se determinó por la ubicación de las estaciones hidrométricas, después de esta división, se midieron áreas, longitudes, pendientes, órdenes de las corrientes. A cada una de las subcuencas o áreas de captación obtenidas, se le asignó un nombre de acuerdo con las estaciones hidrométricas o el río o corriente a la que pertenecen.

Metodología IHA - RVA (Indicators of Hydrological Alteration - Regime Variability Approach)

El software IHA-RVA V 7.1 fue desarrollado por TNC -The Nature Conservancy (2009) y se ha consolidado al aplicarse en un gran número de casos alrededor del mundo (ConserveOnline, 2011). Este método hidrológico recomienda contar con 20 años de registros o más para obtener el régimen de variación natural del caudal, tanto estacional o (intra-anual) como el comportamiento histórico del régimen de caudal del río (inter-anual). El software realiza también un análisis de regresión y tendencias mensuales.

En este trabajo se analizan 33 parámetros hidrológicos, que se obtienen de los registros de los caudales medios diarios de las estaciones hidrométricas. Dichos parámetros se clasifican en cinco grupos: 1) caudales medios mensuales; 2) los máximos y mínimos para distintos periodos de interés (1, 3, 7, 30 y 90 días). 3) fechas o momento en que ocurren los extremos mínimos y máximos; 4) duración y conteo de pulsos altos y bajos y 5) tasa de cambio, como el número de veces que el hidrograma cambia a una condición de incremento a decremento y viceversa.

Para el régimen de variabilidad natural, se utilizaron los parámetros del grupo 1, 2 y 3, porque son los que definen los umbrales de variabilidad y cuando se presentan en el río para diferentes periodos de interés (estacionales y extremos) y que pueden interpretarse para la asignación de caudales ecológicos bajo

esquemas de uso o presión por el agua, conforme con los objetivos ambientales.

Esta información representa la base para que conjuntamente con métodos más avanzados se puedan asociar los caudales a las características de los cauces, la disponibilidad de hábitat y su preferencia por las especies, así como realizar hipótesis de los impactos que sobre éstos generarían las extracciones o modificaciones por operación de infraestructura hidráulica.

Para cada indicador se realizó un análisis no paramétrico (Avilés-Garay, 2003), estimando las medianas y su dispersión percentiles a lo largo de la serie. Los umbrales de variabilidad natural reconocidos por (Richter et al., 1997) (Postel & Richter, 2003) (TNC -The nature Conservancy-, 2009), están entre los percentiles 25 a 75. A percentiles menores o mayores se entiende que se van ubicando condiciones de sequía o avenidas cada vez más extremas.

Por lo que las modificaciones a este intervalo de variación natural sirven para reconocer el tratamiento de año seco o húmedo que se daría a la corriente y para recomendar caudales ecológicos estacionales, mensuales o de época de interés para las comunidades biológicas, en lugar de un caudal mínimo a lo largo de todo el año y de todos los años. Este régimen variable contribuye a la salud de las poblaciones y al mantenimiento del ecosistema fluvial. Por medio de este análisis se asocia un significado al intervalo de variabilidad de los parámetros hidrológicos en términos de los procesos relacionados con la dinámica del cauce y los requerimientos de los ecosistemas acuáticos y rivereños, así como el alcance e importancia de las inundaciones. (Richter et al., 1998)

RESULTADOS

En la tabla 3, se muestran las principales características de cada una de los tramos de las corrientes y de las subcuencas señaladas.

Tabla 4. Áreas de las subcuencas, Longitud del tramo del río, pendientes y orden de las corrientes.

Subcuenca	Área (km ²)	Longitud km	Pendiente %	Orden (Strahler)
Oaxaca Atoyac	1026.54	48.27	0.500	4
Oaxaca Salado	1198.68	63.55	0.172	3
Zimatlán	433.50	36.72	0.785	4
Tlapacoyán	600.79	34.41	0.489	4
Paso Ancho	2513.65	93.14	0.546	4
Yutama	216.27	28.92	2.382	3
Nduave	204.15	34.09	1.654	2
Yutacua	5153.96	156.81	1.076	5
Nusutia	1982.35	102.48	0.741	3
Ixtayutla	182.36	19.96	2.580	5
El Carrizo	3246.73	181.55	1.33	5
Paso de la Reina	420.78	42.41	1.442	5
Bajo Río Verde	1186.36	69.52	0.086	5

Se analizaron los datos de 12 estaciones hidrométricas. Se calculó el caudal medio anual (CMA) para cada estación hidrométrica y se obtuvieron los valores máximos y mínimos ocurridos históricamente (Tabla 4)

Tabla 5. Caudal medio anual y valores extremos para cada estación

CLAVE	ESTACION	Caudal Medio Anual (m ³ /s)	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
20005	Oaxaca Atoyac	1.30	0	265.30
20027	Oaxaca Salado	0.89	0	196.55
20040	Yutama	1.02	0.15	85.00
20034	Nduave	1.81	0.05	54.70
20026	Tlapacoyán	5.37	0	289.52
20036	Paso ancho	11.88	0.07	829.00
20023	Zimatlán	4.45	0	497.62
20042	Yutacua	25.95	1.90	527.00
20041	Nusutia	62.69	4.70	1178.00
20021	Ixtayutla	92.39	1.49	1362.93
20043	El Carrizo	132.74	10.60	3429.00
20017	Paso de la Reina	161.50	7.60	4891.69

Variación intra-anual diaria

Se calcularon los promedios diarios de cada estación, que muestran el comportamiento de cada día y algunos picos de caudal que ocurren dentro de cada mes o estación el año. En la figura 8 se observa

como contribuye cada estación al caudal de la cuenca y entre que días se inician las estaciones de lluvias y estiaje. La regularidad observada evidencia una cuenca poco modificada.

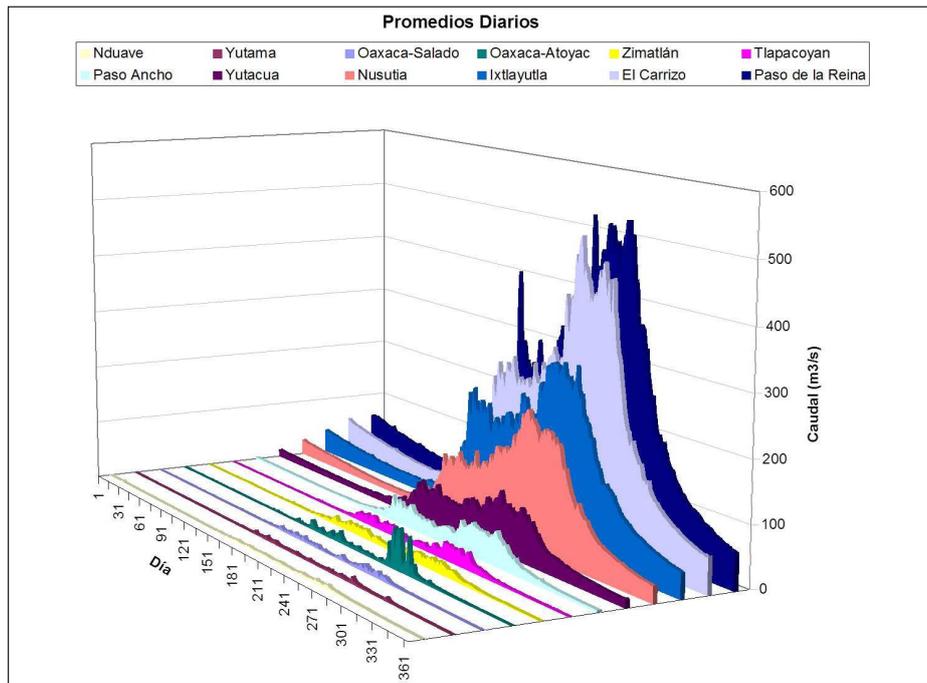
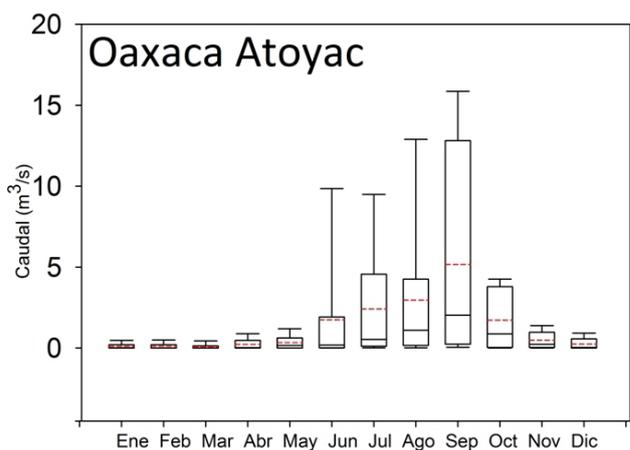
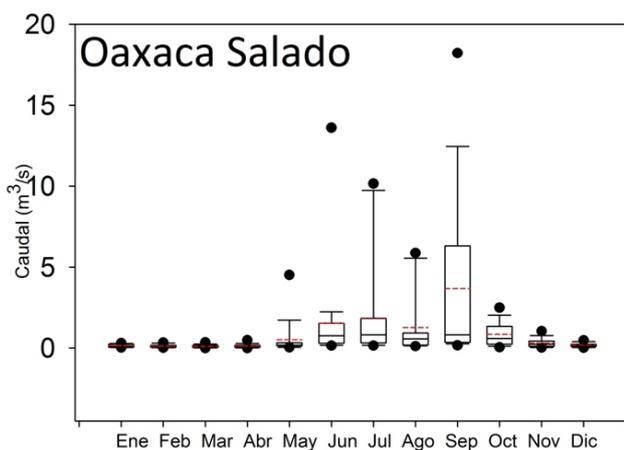
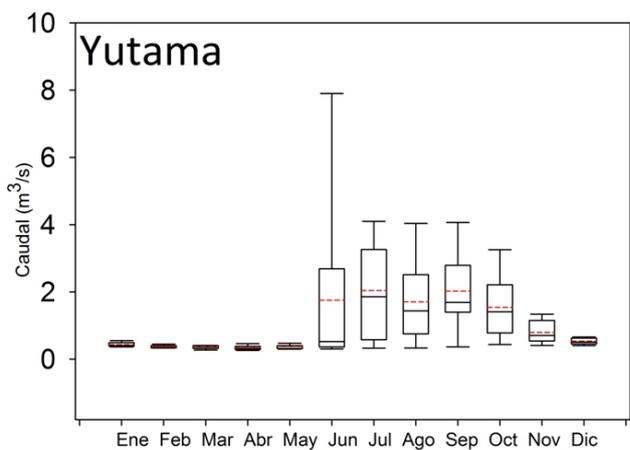
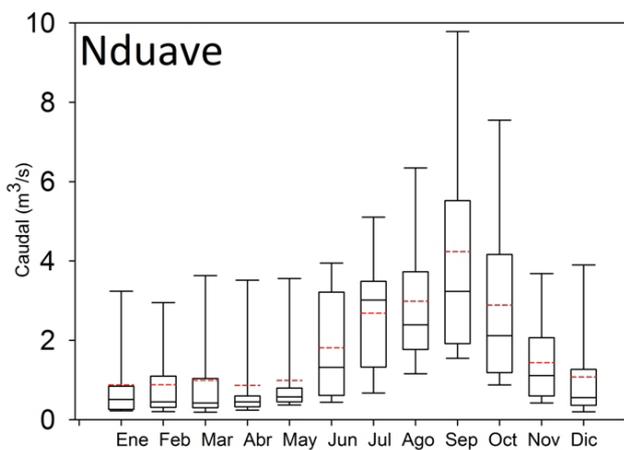


Figura 8. Distribución de caudales promedios diarios y su agregación.

Variación intra-anual mensual

A partir del análisis de las medias, medianas y percentiles mensuales en cada estación, se puede comparar su variabilidad y como se aplicarían los criterios para determinar un régimen de caudal natural y alterado. La línea negra dentro de la caja es

la mediana y la roja punteada representa la media. Los límites del diagrama de caja corresponden al percentil 25 el inferior al 75 el superior y los límites de los bigotes a los percentiles 10 y 90 respectivamente. Los puntos negros representan los percentiles 5 y 95 (Figura 9).



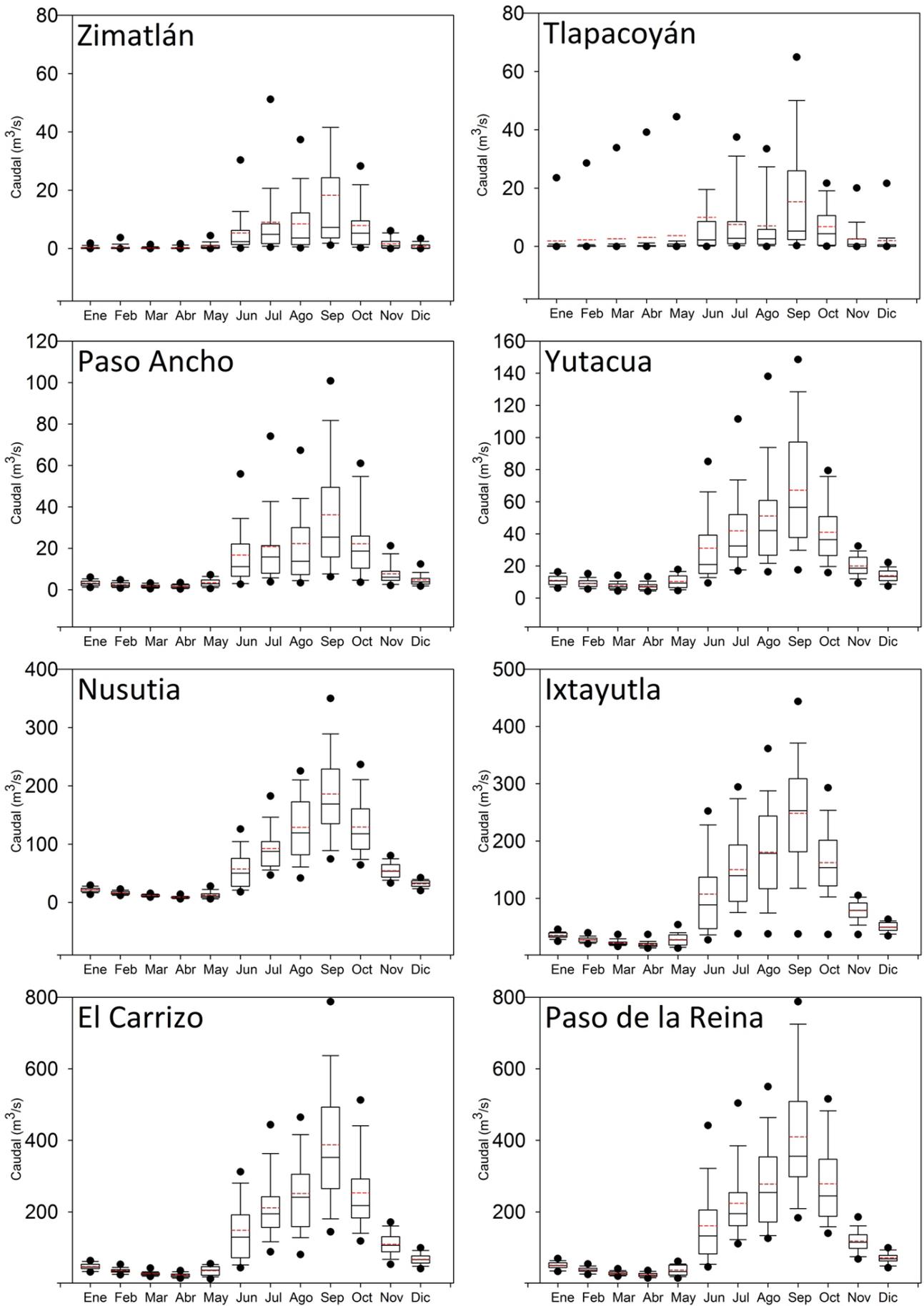


Figura 9. Variabilidad de los caudales mensuales en las estaciones hidrométricas

Variación inter-anual

Esta variación se refiere al comportamiento histórico del río que refleja la alternancia entre años secos, promedio y lluviosos, en algunos casos comportán-

dose de manera cíclica o por períodos largos, que se pueden observar en los gráficos obtenidos del software IHA V. 7.1 (Figura 10)

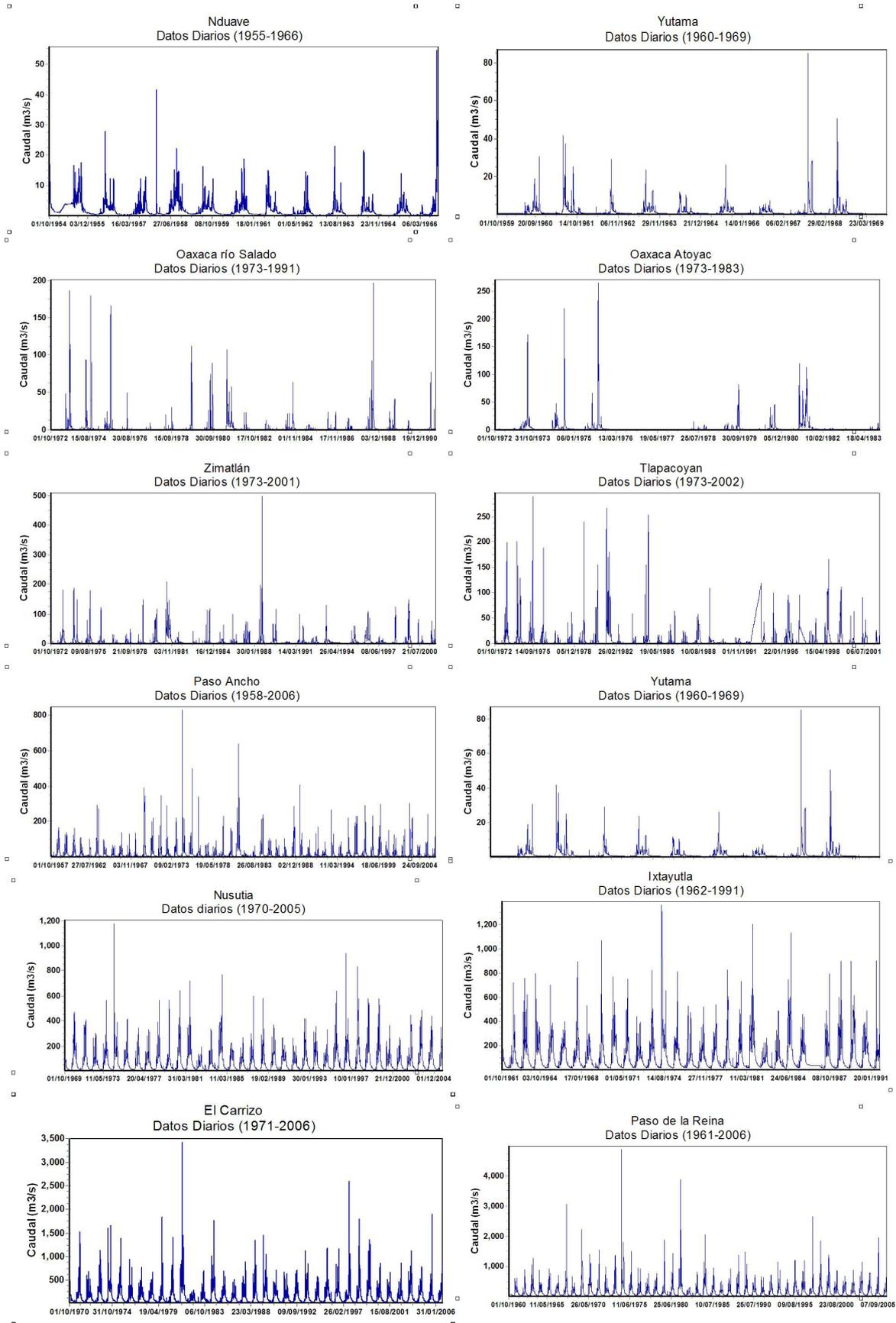


Figura 10. Variación inter anual para todas las estaciones hidrométricas

Magnitud y duración de los caudales

El grupo 2 de parámetros hidrológicos calculados por IHA-RVN corresponde a la magnitud y duración

de los caudales para diferentes periodos (1, 3, 30 y 90 días máximos y mínimos), así como los días de caudal cero para las corrientes intermitentes (tabla 5)

Tabla 6. Medianas en m³/s y coeficientes de dispersión para diferentes periodos.

Grupo 2	Nduave		Yutama		Oxaca Salado		Oxaca Atoyac		Zimatlán		Tlapacoyan	
	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.
Mín. 1-día	0.23	1.07	0.24	0.61	0.02	1.22	0	0	0	0	0.01	7.56
Mín. 3-días	0.27	0.8	0.26	0.36	0.02	1.1	0	0	0	0	0.01	7.37
Mín. 7-días	0.31	0.74	0.28	0.3	0.03	1.16	0	0	0	0	0.01	7.12
Mín. 30-días	0.37	0.56	0.31	0.3	0.04	1.07	0	0	0	18.34	0.03	2.79
Mín. 90-días	0.43	1.17	0.37	0.3	0.09	0.96	0.01	9.29	0.05	5.08	0.07	2.06
Máx. 1-día	20.18	1.22	24.95	1.34	49.18	1.82	47.87	2.98	108.1	0.75	94.91	1.4
Máx. 3-días	14.5	0.64	18.26	1.02	43.91	1.7	41.38	2.44	95.97	0.8	70.68	1.53
Máx. 7-días	11.37	0.41	13.38	0.64	29.26	1.62	27.33	2.92	68.08	0.94	54.31	1.72
Máx. 30-días	6.15	0.62	6.09	0.73	9.17	2.25	10.83	2.52	35.74	0.99	26.35	1.9
Máx. 90-días	3.62	0.85	3.35	0.55	4.45	1.99	5.76	2.24	17.34	0.91	14.72	1.62
Caudal cero	0	0	0	0	0	0	52	2.54	35	3.16	0	0
Grupo 2	Paso Ancho		Yutacua		Nusutia		Ixtayutla		El Carrizo		Paso de la Reina	
	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.	Mediana	C.D.
Mín. 1-día	0.95	1	5.58	0.45	7.27	0.22	14.13	0.36	16.3	0.22	15.74	0.45
Mín. 3-días	1.01	0.89	5.7	0.45	7.43	0.21	14.79	0.33	16.58	0.24	16.29	0.52
Mín. 7-días	1.07	0.85	6.03	0.43	7.63	0.21	15.25	0.31	17.14	0.24	17.48	0.43
Mín. 30-días	1.27	0.89	6.63	0.4	8.52	0.26	16.43	0.29	21.43	0.29	25.06	0.29
Mín. 90-días	1.86	0.59	7.82	0.45	11.13	0.23	20.5	0.29	28.29	0.25	32.86	0.34
Máx. 1-día	181	0.89	263.1	0.58	431.5	0.51	754.7	0.52	1021	0.71	956.9	0.85
Máx. 3-días	144.5	0.85	200	0.64	383.3	0.45	582.6	0.52	849.5	0.74	825	0.93
Máx. 7-días	115.7	0.8	160.6	0.65	328	0.52	484.4	0.53	706.9	0.64	676.7	0.75
Máx. 30-días	55	1.11	97.4	0.83	219.3	0.45	320	0.4	444.6	0.64	505.1	0.74
Máx. 90-días	30.42	0.96	59.01	0.52	150.9	0.47	218.8	0.4	341.4	0.51	375.7	0.48
Caudal cero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Umbral para determinar el caudal ecológico

Bajo un esquema de manejo de los caudales, el umbral para la variabilidad natural se ubica dentro de los percentiles 25 a 75, ya sea mensual o estacionalmente (Richter et al., 1997) (Poff et al., 2010), lo que en una distribución normal y análisis paramétrico correspondería a mantenerse dentro de un intervalo de más/menos una desviación estándar. Para definir los

umbrales de extracción o modificación del régimen y los caudales ecológicos resultantes, debe reconocerse la variabilidad histórica para identificar cómo y por cuánto tiempo se estaría dando al río una condición de año seco hacia el percentil 10 o 5, promedio ubicado en la mediana, o lluvioso hacia el percentil 90 o 95 (Figura 11 y 12).

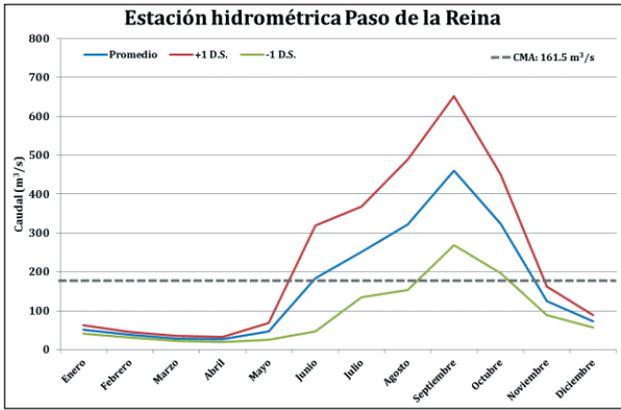


Figura 11. Umbrales del análisis paramétrico

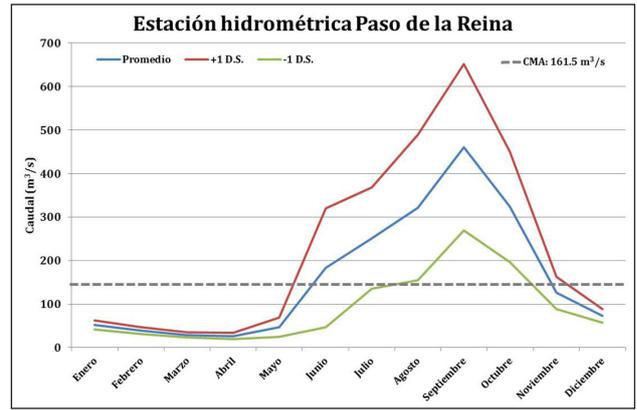


Figura 12. Umbrales del análisis no-paramétrico

En el esquema de manejo para suavizar las variaciones aleatorias y resaltar la componente cíclica de los años secos, promedio y húmedos con respecto al promedio anual, también es recomendable realizar un análisis de promedio móvil, por ejemplo de

5 años para la planeación de asignaciones de volumen u operación de presas (Figura 13). Por otro lado un análisis de descomposición de series de tiempo puede mostrar la tendencia histórica y la magnitud esperada de los valores con respecto a los registros (Figura 14).

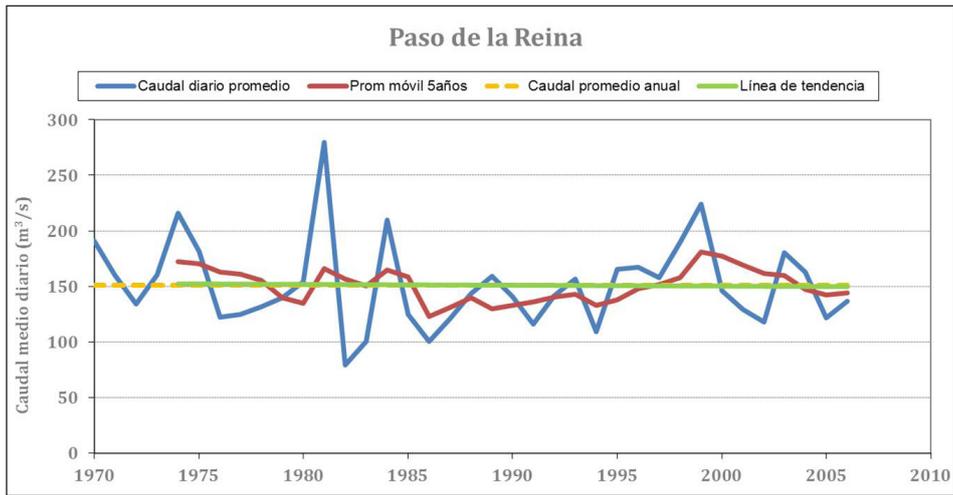


Figura 13. Promedio móvil 5 años Paso de la Reina

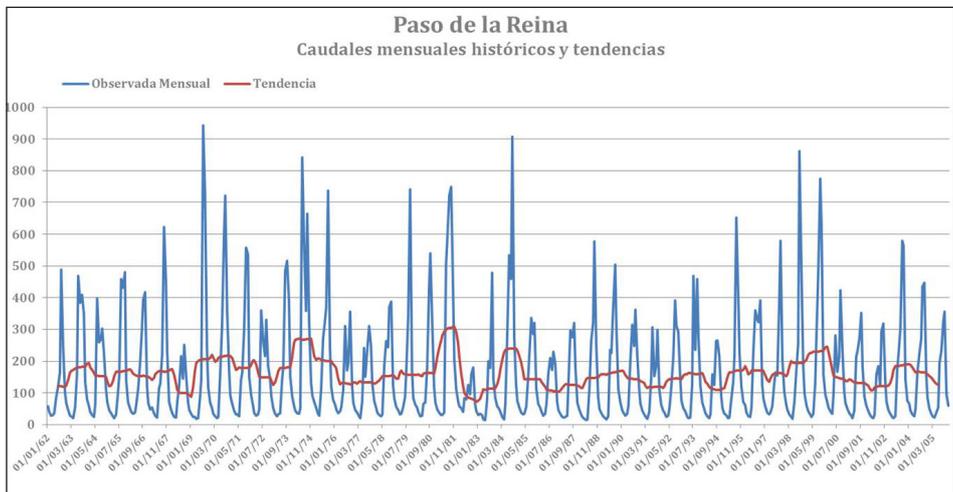


Figura 14. Serie de tiempo mensual y tendencia

Valores de referencia de la NMX de caudal ecológico

Conforme con los objetivos ambientales correspondientes a cada cuenca y los porcentajes de caudal medio anual recomendados por los métodos de Tennant modificado por (García et al., 1999) y el de WWF de la NMX. Se obtuvieron los siguientes valores guía iniciales para tener en cuenta en la planeación del aprovechamiento del agua en la cuenca (Tabla 6). Para autorización de grandes extracciones o alteraciones importantes, se recomienda la aplicación de métodos más detallados que señala la misma NMX.

Para la cuenca del Río verde se analizó información sobre la importancia ambiental y los recursos por proteger como es el inventario de especies en la parte baja de la cuenca (60 km antes de su confluencia), realizado por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, para un estudio de la Comisión Federal de Electricidad (inédito), en el que se identificaron 18 especies de peces y 12 especies de langostinos, que representan especies de importancia ecológica y económica para la cuenca y comunidades locales.

Tabla 7. Valores de Referencia para Caudal Medio Anual y Volúmenes de Escurrimiento Medio Anual.

Sitio/Estación	Obj. Amb.	CMA (m³/s)	EMA (Mm³/año)	Tennant (Modif. Por García, et al., 1999)				WWF		
				Estiaje		Avenidas		%EMA (Mm³/año)		
				%CMA(m³/s)	Q _{mi} (%)*	%CMA(m³/s)	Q _{mi} (%)*	Corrientes Temporales		
Oaxaca Atoyac	B	1.30	145.6	0.26	80	0.52	40	21.8 - 27.7		
Oaxaca Salado	B	0.89	60.7	0.18	80	0.36	40	9.1 - 11.5		
Zimatlán	B	4.45	175.8	0.89	80	1.78	40	26.4 - 33.4		
Tlapacoyán	B	5.37	185.9	1.07	80	2.15	40	27.9 - 35.3		
									Corrientes Perennes	
Paso ancho	B	11.88	497.6	2.38	80	4.75	40	124.4 - 146.1		
El Carrizo	B	132.74	4,775.0	26.55	80	53.10	40	1,193.7 - 1,632.6		
Yutama	A	1.02	49.0	0.31	100	0.61	50	>=	19.6	
Nduave	A	1.81	64.5	0.54	100	1.09	50	>=	25.8	
Yutacua	A	25.95	989.5	7.79	100	15.57	50	>=	395.8	
Nusutia	A	62.69	2,214.9	18.81	100	37.61	50	>=	886.0	
Ixtayutla	A	92.39	3,342.5	27.72	100	55.43	50	>=	1,337.0	
Paso de la Reina	A	161.50	5,232.5	48.45	100	96.90	50	>=	2,093.0	
CMA = Caudal Medio Anual m³/s				EMA = Escurrimiento Medio Anual Mm³/año						
Tennant Modificado. Estiaje: %CMA A:30 B:20 - %Q _{mi} A:100 B:80 Avenidas: %CMA A:60 B:40 - %Q _{mi} A:50 B:40 (*mensual)										
WWF. Corrientes Perennes: %EMA A: >= 40 B:25-39 Corrientes Temporales: %EMA A:>=20 B:15-19										

Por otra parte, a través de un análisis de prioridades y vacíos de la conservación, dentro de la cuenca del Río Verde se han identificado sitios de importancia

terrestre y acuática clasificados en tres categorías de prioridad: media, alta y extrema (CONABIO - CONANP, 2010), Figura 15 y 16.

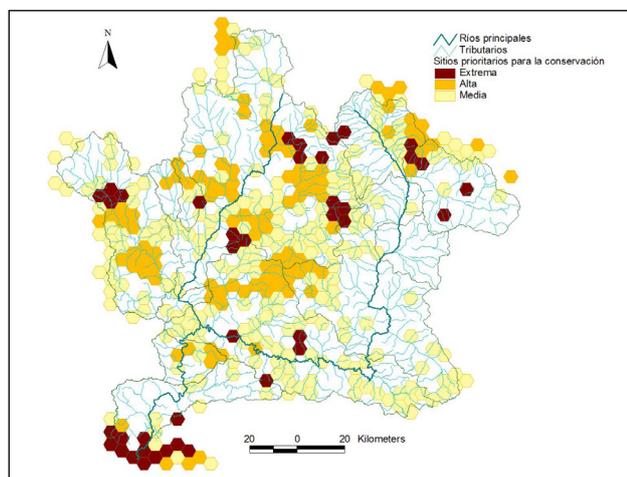


Figura 15. Sitios prioritarios terrestres

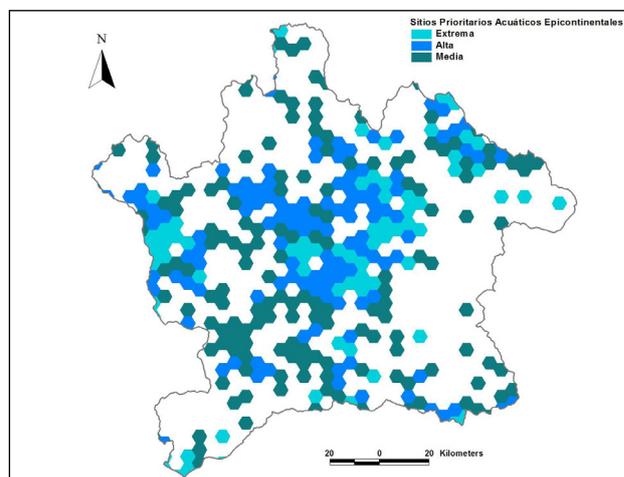


Figura 16. Sitios prioritarios acuáticos epicontinentales

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Conforme con las características de los dos afluentes principales, los arroyos y ríos formadores del Atoyac al noreste de la cuenca alcanzan un mayor orden, presentan pendientes menores y también menor área de captación, por lo que la concentración de escurrimientos es más lenta y la disponibilidad menor. Mientras que los afluentes de la parte noroeste de la cuenca a partir de la estación Yutama a Ixtayutla, presentan menor orden, mayor pendiente y superficie de captación, por lo que las corrientes concentran un mayor volumen de escurrimiento de forma más rápida, con menor infiltración y mayor disponibilidad hasta que se integran en la corriente principal de orden 5.

A diferencia de los afluentes del Atoyac, la contribución de los afluentes del río Verde es determinante en el régimen de variabilidad anual de la cuenca, señalando una marcada temporada de lluvias y estiaje con períodos ascendentes y descendentes de los mismos en la variabilidad intra-anual. Mensualmente la variabilidad de los caudales es mayor en la época de lluvias por lo que la cuenca conforme con Seelbach, et al. (Seelbach, Wiley, Baker, & Wehrly, 2006) en la parte noreste puede clasificarse como "determinada por el agua subterránea, el caudal base y altos picos de escurrimiento". Hacia el noroeste las corrientes están determinadas por la precipitación, con bajo caudal base y altos picos de escurrimiento.

Históricamente los años lluviosos pueden seguirse a través de la agregación de las estaciones de la cuenca, mientras que la influencia de huracanes y lluvias extremas se identifica principalmente hasta la estación El Carrizo. Su alternancia resulta importante en el diseño de una estrategia de caudal por el nivel de estrés que causan en las comunidades biológicas.

Como el coeficiente de dispersión que representa la diferencia entre los percentiles 75 y 25 divididos entre el percentil 50 refleja la variabilidad de los datos en los distintos períodos de registro, observándose que en la parte noroeste de la cuenca con corrientes temporales y datos de caudal cero, la variabilidad en los períodos de 30 y 90 días mínimo puede ser muy amplia y afectada por valores bajos pero superiores a cero. Mientras que en las corrientes del noroeste de la cuenca las variaciones son menores y están determinadas por los valores menores a la mediana. La variabilidad en general es mayor en los períodos de caudales máximos.

Para definir una estrategia de caudal ecológico en cada estación hidrométrica es más conveniente utilizar un análisis no paramétrico que reconoce el comportamiento histórico de un río, sobre todo como es el caso de Paso de la Reina para reproducir distintos caudales que se requieren en la época de lluvias por el tipo de año que se pretenda reproducir por el aprovechamiento o extracción, ya sea que se trate al río por varios años secos, promedio o con cierta alternancia natural que se ha presentado.

Los valores o porcentajes de referencia obtenidos del caudal o escurrimiento medio anual según el método conforme a la NMX, orientan en la etapa de planeación del aprovechamiento del agua en la cuenca, sobre todo el porcentaje de extracción que se debería autorizar para proteger la condición ecológica del río. Otros métodos sugeridos en la misma NMX se relacionan con la distribución estacional y mensual del volumen, así como los umbrales de alteración mensual para reproducir ciertas condiciones de estiaje o avenidas para los procesos naturales de los ríos y sus comunidades. Para infraestructura de desvío o generación que implique alteraciones diarias u horarias se deberán aplicar métodos más detallados.

Asimismo, los objetivos ambientales que se han asignado a la cuenca representan una iniciativa gubernamental para su conservación y pueden servir de base para la negociación y formulación de escenarios para su aprovechamiento local o regional.

REFERENCIAS

- Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Bérubé, M., Robichaud, É., Thiémonge, N., & Bobée, B. (2006). A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. *River Research and Applications*, 22(5), 503–523. doi:10.1002/rra.918
- Avilés-Garay, E. J. (2003). Estadísticas: Contrastes paramétricos y no paramétricos. Puerto Rico.
- Brisbane. (2007). Declaración de Brisbane.
- CONABIO, & CONANP. (2010). Sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad.
- CONAGUA. (2011). Estadísticas del agua en México, edición 2011. (SEMARNAT, Ed.) (p. 185). México: SEMARNAT.
- ConserveOnline. (2011). The Indicators of Hydrologic Alteration. <http://conserveonline.org/workspaces/iha>
- DOF-19/06/2007. (n.d.). DOF - Acuerdo de Disponibilidad media anual de las aguas superficiales. 19/06/077.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (2003). Elementos esenciales de los caudales ambientales. (p. 125). San José, C.R: UICN-ORMA.
- ELOHA. (2010). Límites Ecológicos de las Alteraciones Hidrológicas. *Ecological Applications* (pp. 1–4).
- García, R. E., González, R., Martínez, P., Athalía, J., & Paz-Soldán, G. (1999). Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México (Colección ., p. 190). México: CNA-IMTA-SEMARNAP.
- Gómez-Martínez, J. F. (2009). Estudio Hidrológico e hidrometeorológico de la cuenca del Sistema Ambiental Regional del proyecto de aprovechamiento hidráulico Paso de la Reina, Oax . (pp. 1–254). México.

- Gordon, N. D., McMahon, T. A., & Finlayson, B. L. (2004). *Stream Hydrology An Introduction for Ecologists* Second Edition. New York: John Wiley & Sons.
- NMX-AA-159-SCFI-2012 Norma Mexicana. Que establece el procedimiento para la determinación del Caudal ecológico en cuencas hidrológicas. México, D.F., 20 de septiembre de 2012. (2012).
- Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., Acreman, M., et al. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology*, 55(1), 147–170.
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for life: managing water for people and nature*. Washington, DC.: Island Press.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., & Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14(4), 329–340.
- Richter, Brian D., Baumgartner, J. V., Wigington, R., & Braun, D. P. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37.
- Seelbach, P. W., Wiley, M. J., Baker, M. E., & Wehrly, K. E. (2006). Landscape-based identification and classification of ecological river segments: concepts, approach, and application across Michigan's Lower Peninsula. In E. R. Hughes, L. Wang, and P.W. Seelbach (Ed.), *Landscape influences on stream habitats and biological communities*. (Symposium ., pp. 25–48). American Fisheries Society.
- Snelder T. H., T. Datry, N. Lamouroux, S. T. Larned, E. Sauquet, H. P., & Catalogne, and C. (2013). Regionalization of patterns of flow intermittence from gauging station records. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 10, 1511–1551.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5-6), 397–441.
- TNC. (2011). *Agua Dulce - Manteniendo el caudal ambiental en los ríos*. 2011. <http://espanol.tnc.org/habitats/aguadulce/fluorios.html>
- TNC (The Nature Conservancy). (2009). *Manual de usuario de Indicadores de alteración hidrológica, Versión 7.1*. Nature.
- Veza, P., Parasiewicz, P., Rosso, M., & Comoglio, C. (2011). Defining minimum environmental flows at regional scale: application of mesoscale habitat models and catchments classification. *River Research and Applications*.
- Wood, P. J., Hannah, D. M., & Sadler, J. P. (2007). *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Earth (1st ed., p. 466). Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- WWF, & Fundación Río Arronte. (2011). *Guía para la determinación de caudal ecológico en México Sistematización de experiencias de la Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P.* (p. 98). Mexico, D.F.
- www.eflownet.org. (2012). *Global Environmental Flows Network*. <http://www.eflownet.org>

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de Maestría en Ingeniería Ambiental durante la cual se desarrolló este tema.

A la Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental del IMTA y a la Dra. Ma del Pilar Saldaña Fabela.

ENFOQUE INTEGRADO DE LOS ESTUDIOS DE PELIGRO POR GRANDES PRECIPITACIONES Y PRECIPITACIONES INTENSAS

INTEGRATED APPROACH TO STUDIES OF HAZARD FOR LARGE RAINFALL AND INTENSE PRECIPITATION

Dr. Eduardo O. Planos Gutiérrez*

Resumen

Para los estudios de las precipitaciones intensas con fines de diseño y para la valoración del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo, entre otras aplicaciones, se utiliza el ajuste de funciones de distribución de frecuencias a series de eventos máximos y el análisis del riesgo estocástico. Sin embargo, estas herramientas tienen limitaciones, fundamentalmente, por la incertidumbre del cálculo probabilístico, sobretodo de los eventos de rara ocurrencia. En este trabajo, basado en una investigación elaborada para la República de Cuba (Planos et al, 2012), se ofrece un enfoque integrado del análisis de las precipitaciones intensas, sobre la base de un conjunto de indicadores comúnmente utilizados para la determinación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas y en otros estudios.

Abstract

For studies of heavy precipitation for design purposes, and for the hazard, vulnerability and risk assessment, among other applications, is used adjusting frequency distribution functions for maximum event series and the stochastic risk analysis. However, these tools are limited mainly by the uncertainty of the probabilistic calculation, especially in the event of rare occurrence. This paper provides an integrated approach to the study of heavy precipitation, based on a set of indicators commonly used to determine the design parameters of hydraulic and other studies.

Palabras Claves: grandes precipitaciones, precipitaciones intensas, intensidad - duración - frecuencia, análisis probabilístico, riesgo estocástico, peligro, vulnerabilidad, análisis integrado.

INTRODUCCIÓN

Las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas, que ocurren en intervalos inferiores a las 24 horas, son unos de los rasgos más significativos del clima de los países tropicales, por el rol determinante que tienen en la pluviosidad anual y en el balance hídrico de un país; y además, porque suelen provocar crecidas notables, que producen importantes inundaciones de origen fluvial, que afectan a los todos los ecosistemas naturales y las intervenciones humanas. Por otra parte, las precipitaciones intensas, definidas tan solo por la lámina acumulada en un intervalo de tiempo determinado, también tienen impactos severos, con independencia de la magnitud total acumulada al finalizar el evento pluvial, debido a que la lámina de agua que se acumula en un intervalo particular puede tener un efecto catastrófico en una escala espacial más reducida.

El análisis de estas precipitaciones es fundamental para aplicaciones relacionadas con el diseño de obras tránsito de caudales máximos, la prevención de inundaciones y la mecánica de suelos. Entre los múltiples métodos que existen para el análisis de

estas precipitaciones, la confección de curvas de intensidad duración frecuencia está ampliamente extendido en la práctica ingenieril; utilizando para ello el ajuste de funciones de distribución de frecuencia a series de poblaciones simples o mezcladas, con el apoyo de rigurosos métodos estadísticos relacionado con la formación y análisis de las series cronológicas. Sin embargo, esta útil herramienta no es suficiente como criterio de valoración del peligro, sobre todo porque no resuelve el problema de la incertidumbre de los cálculos probabilísticos, relacionada esencialmente con el hecho de que una magnitud de probabilidad dada puede ocurrir en cualquier momento, con independencia del período de retorno calculado.

En este trabajo se expone un enfoque integrado para la valoración del peligro por este tipo de fenómeno, que se fundamenta en el análisis de un conjunto de indicadores de peligro que comúnmente se calculan para realizar los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo y para la determinación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas.

* Instituto de Meteorología de Cuba, eduardo.planos@insmet.cu

FUNDAMENTO DEL ESTUDIO

Para analizar los resultados que en este artículo se exponen, es conveniente señalar primero, las limitaciones fundamentales que el autor atribuye al enfoque exclusivamente probabilístico en los estudios de peligro y las ventajas que sobre éste tiene el análisis integrado. Entre los aspectos que más afectan la seguridad de los resultados del análisis probabilístico se pueden citar tres fundamentales: (a) el tradicional carácter local de estos estudios, desconociendo el comportamiento regional del fenómeno analizado, su variabilidad espacial y la de los parámetros característicos de las series, (b) la generalmente corta extensión de las series, que no caracterizan la variabilidad climática en toda su amplitud, lo cual influye en la relación entre los coeficientes de asimetría (CS) y variación (CV) de la serie, produciendo con frecuencia sesgos que dificultan el ajuste de las funciones de distribución, sobre todo cuando el análisis se realiza en regiones donde se manifiestan fenómenos meteorológicos con diferencias notables en su capacidad de producir lluvia y (c) la extrapolación de las series al calcular magnitudes de extenso período de retorno, cuyo resultado está determinado por el modelo de función de distribución escogido, y frecuentemente para retornos elevados suelen producir valores irrealistas. Lo anterior es aplicable tanto para los ajustes de funciones de distribución en poblaciones simples como mezcladas, aunque en el caso de las mezcladas mejora sustancialmente la calidad del ajuste.

Una premisa a tener siempre presente, es que el estudio del período de recurrencia de los fenómenos extremos no es meramente un problema estadístico. Tal como señala V. Klemes (1989), *".....el punto débil de los procedimientos convencionales es que los mismos no toman en cuenta las peculiaridades de los sucesos hidrometeorológicos y se basan en postulados probabilísticos incapaces de reflejar cabalmente lo que sucede en la naturaleza"*. La probabilidad del valor de diseño obtenido con el ajuste de cualquiera de las funciones de distribución aplicable en esta ciencia, es, tan sólo, representativa del comportamiento del suceso en el tiempo pasado, y como dice Klemes (1989), *".....incapaz de reflejar la dinámica de los siempre cambiantes - en el tiempo - fenómenos climáticos"*. De hecho, este valor constituye, únicamente, un índice para las decisiones del hidrólogo, que deberán sustentarse en una correcta interpretación del evento que analiza, tomando en cuenta la variabilidad y tendencia climáticas imperantes en el período que estudia y de acuerdo al propósito del trabajo que elabora.

Por su parte, el análisis integrado del peligro, basado en la utilización de los propios métodos probabilísticos (ajuste de funciones de distribución y riesgo estocástico) y en una adecuada selección de parámetros estadísticos y físico geográficos, tiene la ventaja de fundamentarse en el conocimiento de la variabilidad espacial de los parámetros escogidos y su relación con los elementos del paisaje geográfico;

lo cual posibilita establecer regiones homogéneas; suplir las insuficiencias de datos o de las series en zonas donde las observaciones son deficientes; relacionar espacialmente los parámetros de las series (magnitud de una probabilidad dada, CV, CS) con las características físico geográficas de los territorios (altura, pendiente), lográndose con esto dotar al análisis del peligro de un fundamento físico que le hace más potente que el análisis exclusivamente probabilístico.

METODOLOGÍA

Los métodos utilizados para la realización de este tipo de análisis son ampliamente conocidos en la práctica hidrológica (OMM, 2006), razón por la cual no es necesario describirlos de manera detallada. A continuación se exponen los aspectos más relevantes de estos métodos y de los procedimientos utilizados en el trabajo.

Análisis de los datos: se trabajó con una red de pluviómetros y pluviógrafos que en conjunto totalizan 835 estaciones que tienen una distribución espacial que abarca todos los ambientes físico geográficos del país (Tabla 1). Se emplearon datos de precipitación diaria de estaciones pluviométricas; valores de intensidad de la lluvia máxima por intervalos de tiempo característicos determinados en estudios precedentes (Crespo, 1983; Trusov et al., 1986; Koshiasvili, 1972; Limia y Planos, 2004; Planos et al., 2005 y Planos et al., 2010); series cronológicas parciales con umbral de 100 mm y series de lluvias máximas anuales de 24 horas. Todas las series utilizadas abarcaron el período 1961 - 2010.

Estos datos y series, además de ser sometidos a las pruebas estadísticas de análisis de calidad del dato y la determinación de propiedades de las series (tendencia, persistencia, aleatoriedad, homogeneidad), fueron analizados con criterios que se fundamentaron en el reconocimiento de la interrelación espacial entre los registros; la justificación física de los valores anómalos (desde los puntos de vista meteorológico y físico-geográfico); y el análisis de la situación sinóptica en la fecha de los registros mayores de 100 mm; lo cual fue fundamental para la elección de los datos.

Con independencia de que podría considerarse innecesario discutir la homogeneidad y aleatoriedad de las series de valores máximos anuales, dado que el modo de conformarlas garantiza la independencia física de los registros (Pérez, 1983); las series fueron sometidas a estos análisis; atendiendo a que el autor considera que ello no significa que sean ajenas a este fenómeno y a otras inconsistencias dependientes de las manifestaciones de ciclicidad, estacionariedad y tendencias (Planos et al., 2010), sobre todo, teniendo en cuenta que la variabilidad climática puede estar forzada por la persistencia de procesos atmosféricos que favorecen a los eventos que producen las grandes precipitaciones y las preci-

pitaciones intensas (Lapinel, 1988; Lecha et al., 1994 y Aveledo, 2010).

La composición de las series de eventos máximos está marcada por las condiciones climáticas imperantes durante el período que abarca la serie, razón por la cual, para hacer una evaluación más objetiva de ésta, es muy importante el conocimiento del escenario climático prevaleciente en el período analizado, para explicar posibles causas de no aleatoriedad y no homogeneidad de las series de valores máximos (Planos et al, 2010). Los métodos utilizados para el análisis de la homogeneidad y la aleatoriedad fueron la *Prueba de Helmer* para la homogeneidad (Campos Aranda, 1984 y Fill y Stedinger, 1995), la *Prueba de Langbein – Dalrymple* (Dalrymple, 1960), para la homogeneidad regional y la *Prueba de autocorrelación seriada de orden 1* y la *de Covarianza* para la aleatoriedad (Pérez, 1987).

Análisis probabilístico: (Blojinov, 1974; Mamedov, 1978; Campos Aranda, 1987; Kite, 1977; Sevruk y Geiger, 1981; Cunnane, 1989; Klemes, 1989; Shanin et al., 1993; Ferrer Polo, 1997; Llasat, 1997; Madsen y Rosbjerg, 1997 y Pizarro, 2001); sustentado en la amplia y satisfactoria aplicación de la función de distribución Gumbel en Cuba (Pérez, 1983); ésta fue la utilizada para el cálculo probabilístico; con el criterio de poblaciones mezcladas.

$$P(P \geq P_{max}) = k * P(P \geq P_{max}, P > 100 \text{ mm}) + (1 - k) * P(P \geq P_{max}, P \leq 100 \text{ mm})$$

donde k será la probabilidad de paso de valores iguales o mayores de 100 mm, $(1 - k)$ la probabilidad del evento inferior y $P(P \geq P_{max})$ la función de probabilidad ajustada a cada serie de eventos distintos, en esta caso Gumbel.

El análisis de la existencia de subseries estadísticamente representativas y la bondad de ajuste de las funciones de distribución se realizó por medio de la pruebas de *Mann-Whitney* y *Kolmogorov-Smirnov*.

Riesgo estocástico: aunque el análisis probabilístico es en sí mismo una valoración del peligro, expresado en término del período de retorno de una magnitud de valor dado; esta valoración no es suficiente, desde el punto de vista de la determinación más precisa de cuando pudiera ocurrir un fenómeno de consecuencias catastróficas.

El concepto de *riesgo estocástico* (Díaz Arenas, 1982), permite calcular la probabilidad de que un evento se presente en un número de años específicos, utilizando el análisis probabilístico binomial o el de Poisson. Campos Aranda (1984) explica el riesgo de falla de un cálculo probabilístico de la manera siguiente: “sea p la probabilidad de excedencia del evento igual a $1/Tr$, es decir, la probabilidad de ocurrencia en cualquier año; la probabilidad de no ocurrencia es entonces $(1 - p)$. Considerando que los eventos máximos anuales son estadísticamente independientes, la probabilidad de que un even-

to no ocurra en dos años es $(1 - p)^2$. Extendiendo este análisis a la vida útil (N) de una obra se tendrá $(1 - p)^N$. Finalmente, la probabilidad de que el evento si ocurra durante la vida útil será:

$$R = 1 - (1 - p)^N = 1 - (1 - 1/Tr)^N \text{ y } Tr = 1/(1 - R)^{1/N}$$

La probabilidad R se conoce como el riesgo de que un evento de probabilidad dada ocurra en un número de años”.

Como complemento del análisis probabilístico, en este trabajo se ha empleado el concepto binomial, para estimar la probabilidad de que una lámina igual o mayor a 100 mm, en 60 o 1440 min, ocurra en los próximos 2, 5, 10 y 20 años.

Indicadores de peligro básicos para el análisis integrado: estos fueron seleccionados sobre la base de la experiencia obtenida en estudios en Cuba (Planos et al, 2005 y Planos et al, 2012), dedicados al cálculo de los parámetros de diseño de obras de tránsito de caudales máximos (Planos, 1996; Planos et al., 2005; Planos et al., 2010). Los parámetros seleccionados se dividieron en rangos, que a su vez se categorizaron entre 1 y 5 (Tabla 2), como criterio de magnitud del peligro. Esta clasificación se estimó para cada serie utilizada en el trabajo, debidamente georeferenciada, y la magnitud total del peligro se consideró como el promedio de los indicadores. Con los valores de peligro obtenidos, en un mapa se obtuvieron regiones de peligro clasificadas como se muestra en la Tabla 3. Para cada una de las zonas de peligro se calcularon otros parámetros característicos para este tipo de estudio (ver Resultados).

RESULTADOS

El mapa de la Figura 1 muestra la regionalización del peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas obtenida con el análisis integrado. Para cada una de las zonas de peligro se determinaron los parámetros asociados a la intensidad de las precipitaciones y se establecieron relaciones entre algunos de los estadígrafos de las series. La tabla 4 contiene los valores promedios de los principales indicadores de peligro considerados en este estudio, apreciándose las diferencias que existen entre estas regiones. Las tablas 5 y 6, conjuntamente con las figuras 2, 3 y 4, muestran, a modo de ejemplo, las características del Área de peligro moderado (existe igual caracterización para las restantes áreas de peligro, aunque no es mostrada en este artículo).

Respecto al comportamiento de las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas, es claramente visible que predomina una relación de incremento entre la categoría del peligro y los parámetros analizados (Tabla 4), teniendo particular importancia el incremento con la altitud, como elemento representativo de la interacción de los fenómenos meteorológicos con el relieve; sobre lo cual es necesario mencionar nuevamente que en esta obra se está

tratando el análisis del peligro restringido a las precipitaciones, debido a que en otros tipo de análisis de peligro, por ejemplo, las inundaciones, el efecto de la altitud se comporta de manera contraria.

Estos resultados evidencian la fortaleza de este enfoque, porque el análisis probabilístico está acompañado de una regionalización de los parámetros utilizados para los estudios de peligro y otras aplicaciones, que a su vez se relaciona con elementos del paisaje físico geográfico, dotando al análisis de un adecuado enfoque físico. El enfoque integrado permite adoptar decisiones que tomen en cuenta la evaluación de la vulnerabilidad del territorio, basadas en un análisis multicriterio.

A modo de ejemplo se puede indicar, que con el estudio probabilístico en un pluviómetro ubicado en la Región Central de Cuba (22.5 LN y 80.1 LW; Figura

1), se determinó que las láminas de precipitación de 100, 50 y 20 años de período de retorno fueron, respectivamente, 105.5 mm, 95.8 mm y 80.2 mm; al utilizar el análisis integrado en esta localidad, es posible hacer una caracterización más amplia, adjudicándosele una categoría de peligro moderado al lugar representado por el mencionado equipo, siendo posible transponer, con los métodos y criterios adecuados, los atributos promedios, máximos y mínimos que se obtienen de las tablas y gráficos característicos de esta categoría de peligro, como valores posibles en la zona. Así, las decisiones que se tomen no serán solamente fundamentadas en el período de retorno obtenido para una localidad sino que se basarán en un conocimiento más amplio del comportamiento de estas precipitaciones en zonas con comportamiento similar.

Tabla 1. Distribución y parámetros de diseño de la red de pluviómetros (Planos y al., 2005)

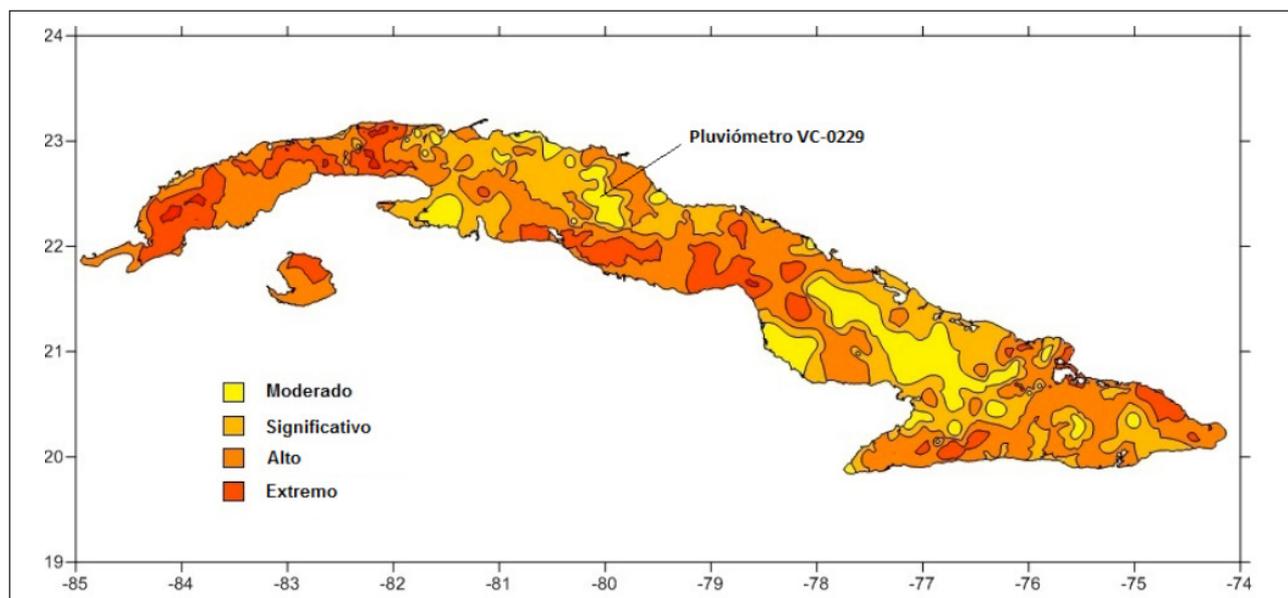
Altura (m)	Número de pluviómetros	Área Km ²	Densidad Pluv/1000km ²	Distancia promedio entre equipos (km)	Error total de interpolación (%)
Menor de 100	622	79300	8	12	9-11
101 – 200	138	16200	9	12	9-11
201 – 500	55	9661	6	13	9-12
501 – 1000	19	3544	5	14	9.5-11.5
Mayor de 1001	1	68	15	10	8-10
Total	835	108773	8	14	9.5-11.5

Tabla 2. Indicadores de peligro clasificados por rango y categorizados en grados de peligro

Indicador	Rango	Categoría
Lámina máxima absoluta	≤ 100	1
	100 – 149	2
	150 - 199	3
	200 – 249	4
	≥250	5
Frecuencia láminas > 100 mm	≤0.2	1
	0.2 – 0.49	2
	0.5 - 0.69	3
	0.7 – 0.99	4
	1.00	5
Lámina 100 años período de retorno	≤250	1
	250 – 349	2
	350 - 399	3
	400 - 449	4
	≥450	5
Probabilidad de una lámina => 100 mm en 2 años	≤ 0.2	1
	0.2 – 0.49	2
	0.50 – 0.69	3
	0.7 – 0.99	4
	≥1.00	5

Tabla 3. Rango de categoría de peligro

Rango Categoría	Descripción	Denominación zona peligro
< 2	Área de peligro moderado	AI
2 – 3.9	Área de peligro significativo	AII
3.9 – 4.9	Área de alto peligro	AIII
5	Área de peligro extremo	AIV

**Figura 1.** Mapa Integral de peligro intensas precipitaciones en Cuba. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010 (Planos et al, 2012)**Tabla 4. Valor promedio por área de otros indicadores generales de peligro por grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010**

Indicadores	Áreas de peligro			
	AI	AII	AIII	AIV
Altitud (m)	75	96	116	250
Lámina promedio \geq 100 mm	135,4	138,7	143,2	157,8
Frecuencia \geq 100 mm	0,31	0,47	0,68	0,82
Coefficiente de variación serie máximos absolutos anuales	0,33	0,46	0,56	0,81
Máximo Absoluto anual	157,7	243,2	326,1	506,4
Lámina de período de retorno de 100 años	192,2	276,5	353,0	531,9
Riesgo de que una lámina \geq 100 ocurra en un período de 2 años	0,57	0,70	0,82	0,91
Probabilidad lámina de 200 mm	0,18	0,40	0,69	0,79
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período húmedo	0,28	0,40	0,49	0,56
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período húmedo excluyendo registros ciclónicos	0,25	0,31	0,44	0,57
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período Seco	0,14	0,13	0,18	0,19
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm provocadas por sistemas ciclónicos	0,29	0,42	0,57	0,68
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm provocadas por sistemas frontales	0,10	0,08	0,08	0,08
Promedio anual láminas \Rightarrow 100 mm	135,4	138,7	143,2	157,8
Promedio anual láminas \Rightarrow 100 mm ponderada por la frecuencia anual	57,1	68,6	95,8	125,7
Influencia de láminas de \Rightarrow 100 mm en el promedio anual (%)	4,3	6,0	8,0	9,9
Promedio láminas \Rightarrow 100 mm del período húmedo	141,2	141,2	147,5	162,3
Promedio láminas \Rightarrow 100 mm del período húmedo ponderada por la frecuencia	40,6	56,9	71,1	90,4
Influencia de láminas \Rightarrow 100 mm en el promedio del período húmedo	4,7	6,2	8,3	10,2

Tabla 4 (continuación). Valor promedio por área de otros indicadores generales de peligro por grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010

Indicadores	Áreas de peligro			
	AI	AII	AIII	AIV
Promedio =>100 en el período húmedo excluyendo registros ciclónicos	151,1	145,0	140,5	142,7
Promedio láminas => 100 mm del período húmedo excluyendo los sistema ciclónicos ponderada por la frecuencia	39,4	47,4	61,8	81,6
Influencia de láminas de => 100 mm en el promedio de período húmedo excluyendo sistema ciclónicos (%)	5,0	6,2	8,1	10,1
Promedio láminas => 100 mm del período seco	123,4	130,8	130,4	146,2
Promedio láminas => 100 mm del período seco ponderada por la frecuencia	9,7	17,1	24,3	27,6
Influencia de láminas de => 100 mm en el promedio de período seco (%)	3,7	5,3	6,9	8,4
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas ciclónicos	211,0	184,3	139,6	124,7
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas ciclónicos ponderada por la frecuencia	67,9	72,6	69,7	79,3
Influencia de láminas de => 100 mm de sistemas ciclónicos en el promedio de período húmedo	26,6	26,8	31,0	38,6
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas frontales	138,2	134,2	137,3	168,4
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas frontales ponderada por la frecuencia	5,0	10,3	10,6	13,4

Características del área de peligro moderado (AI)

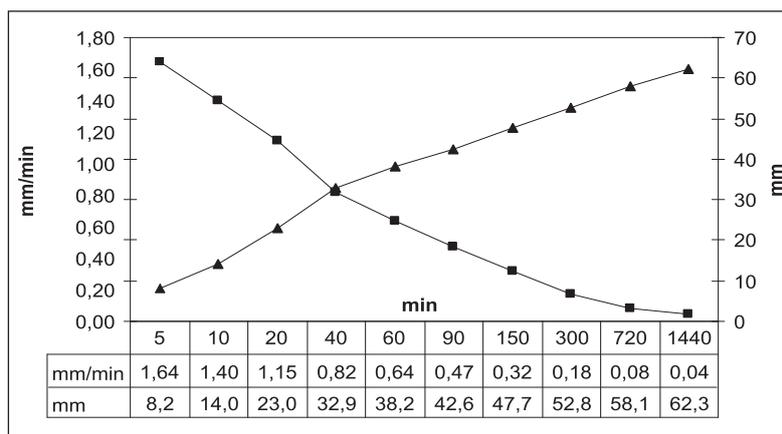


Figura 2. Relación entre valores promedio de intensidad y acrecentamiento de la lluvia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

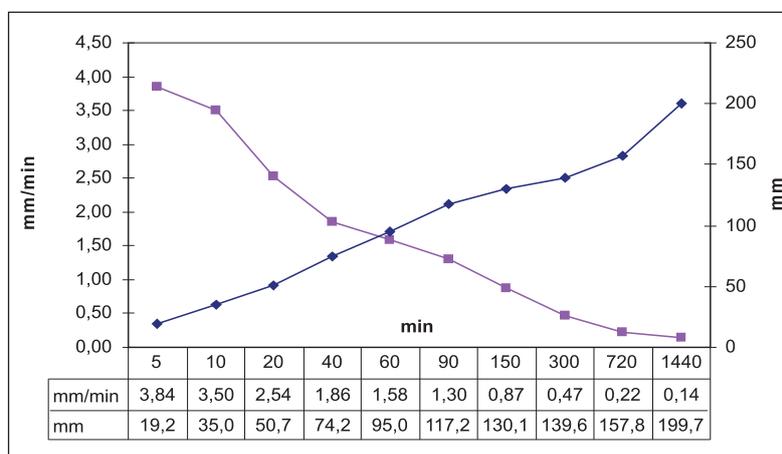


Figura 3. Relación entre valores máximos absolutos de Intensidad y acrecentamiento de la lluvia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

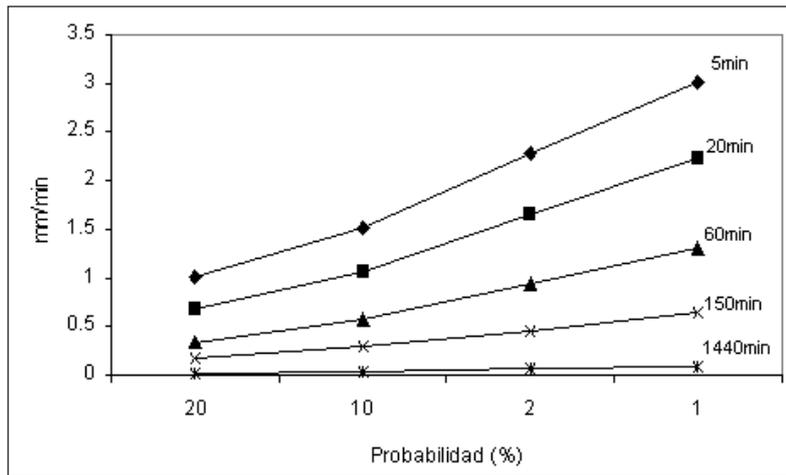
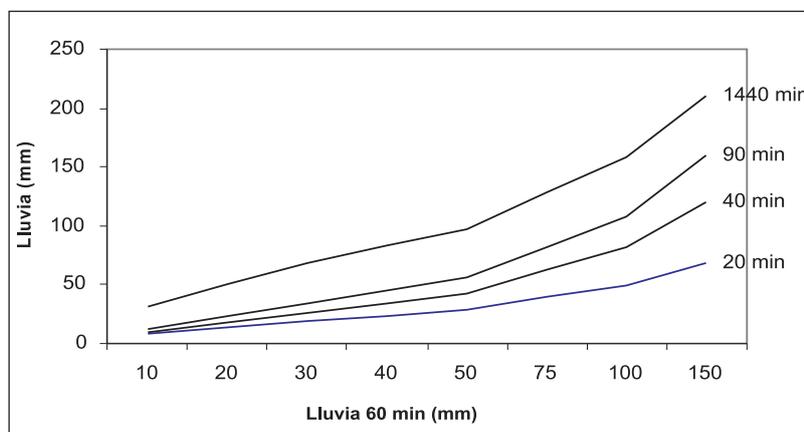


Figura 4. Curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Tabla 5. Parámetros Curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Probabilidad	Tiempo (min)				
	5	20	60	150	1440
0,2	1,01	0,69	0,35	0,18	0,02
0,1	1,52	1,07	0,58	0,29	0,04
0,02	2,29	1,66	0,94	0,47	0,07
0,01	3,02	2,23	1,31	0,65	0,09



$$\begin{aligned}
 LI_{20} &= 1,2121LI_{60}^{0,8044} & LI_{90} &= 1,2657LI_{60}^{0,9661} \\
 LI_{40} &= 1,0214LI_{60}^{0,9521} & LI_{1440} &= 6,2223LI_{60}^{0,7021}
 \end{aligned}$$

Figura 5. Curvas Estándar de Duración - Intensidad en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Tabla 6. Lámina de lluvia en intervalos característicos de tiempo dependiente de la lluvia en 60 min. (Parámetros de las Curvas Estándar de Duración Intensidad.) en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

Tiempo (min)	Lámina 60 min (mm)							
	10	20	30	40	50	75	100	150
20	7,7	13,5	18,7	23,6	28,2	39,1	49,2	68,2
40	9,1	17,7	26,0	34,2	42,3	62,3	81,9	120,5
90	11,7	22,9	33,8	44,7	55,4	82,0	108,3	160,2
150	15,6	28,3	40,0	51,1	61,9	87,5	111,9	158,2
300	25,1	40,8	54,2	66,3	77,6	103,1	126,2	167,7
1440	31,3	51,0	67,8	82,9	97,0	129,0	157,8	209,8

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio del peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas es útil dado que tiene amplia aplicación en distintos campos. Este estudio, cuando se fundamentan en un análisis integrado de los parámetros característicos que tradicionalmente se consideran en las investigaciones ingenieriles y medioambientales, como son el ajuste de funciones de distribución de frecuencias, el análisis de la seguridad estocástica y la estimación de otros parámetros estadísticos y físico geográficos, permite obtener conclusiones más objetivas sobre el peligro; reduciendo las incertidumbres que fueron descritas para los resultados basados exclusivamente en ajustes probabilísticos.

El enfoque integrado posibilita regionalizar el peligro, en este caso, por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas; obteniéndose regiones donde los parámetros asociados a la intensidad de la lluvia y las relaciones que se establecen entre éstos, tienen un comportamiento homogéneo. El mapa integral de peligro presentado, acompañado de gráficos de relaciones entre los parámetros y tablas de parámetros que representan su comportamiento máximo, promedio y mínimo, da la posibilidad hacer estudios a escala de proyecto ingeniero, sobre todo en zonas donde los datos y las informaciones son insuficientes. Aunque no se expone en este trabajo, debe decirse que este mapa de peligro, está también acompañado de tablas, que caracterizan los parámetros utilizados en el análisis, para cada municipio del país y para cada pluviómetro utilizado.

REFERENCIAS

Aveledo, J.C. 2010. Caracterización de las situaciones climáticas y sinópticas que favorecen la permanencia en la Región Occidental de Cuba de períodos estacionales consecutivos con abundantes acumulados de precipitaciones entre 1961 y 2000. Trabajo de diploma Licenciatura en Meteorología. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas. La Habana. Cuba.

Blojinov, E.G. 1974. Distribución probabilística de las magnitudes del escurrimiento fluvial. Editorial Ciencia. Moscú, (en ruso).

Campos Aranda, D.F. 1984. Procesos del ciclo hidrológico, Vol.1. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México.

Campos Aranda, D.F. 1987. Análisis probabilístico de avenidas máximas con poblaciones mezcladas. Ingeniería Hidráulica en México, septiembre-diciembre 1987.

Crespo E. 1983. Actualización de las curvas regionales de Intensidad Duración Frecuencia. Informe técnico de la Dirección de Hidrología, Instituto de Hidroeconomía, La Habana, Cuba.

Cunnane, C. 1989. Statistical distributions for flood frequency analysis, WMO 718, Operational Hydrology Report No 33.

Dalrymple, T. 1960. Flood Frequency Analysis. USGS Water Supply Paper 1543A

Díaz Arenas, A. 1982. Sobre la seguridad del valor de diseño en la vida útil de la obra. Conferencia Científico-técnica "20 años de desarrollo hidráulico en la Revolución".

Fill, H., Stedinger, J. R. 1995. "Homogeneity Tests Based Upon *Gumbel* Distribution and a Critical Appraisal of Dalrymple's Test" *Journal of Hydrology*, vol.166., pp.81-105.

Ferrer Polo, J. 1997. Mapping of statistical characterization of heavy rains at national scale. FRIEND, Third report: 1994-1997, Chapter 5 - Heavy rains. UNESCO. Cemagref Editions, p. 277-283.

Kite, G. W. 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publications. USA.

Klemes, V. 1989. The improbable probabilities of extreme floods and droughts. Hydrology of disasters. Proceeding of technical. World Meteorological Organization. Geneva.

- Koshiasvili, B. 1972. Las lluvias torrenciales en Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba.
- Lapinel, B. 1988. La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las precipitaciones en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lecha, L.B, Paz, L.R y Lapinel B, B. 1994. El Clima de Cuba. Editorial Academia. La Habana, Cuba.
- Limia, M. y Planos, E. 2004: "Relación espacial de la lluvia con su intensidad máxima. Estudio de casos", Evento Trópico 2004, publicación digital.
- Llasat, M.C. 1997. Heavy rains. FRIEND, Third report: 1994-1997, Chapter 5 - Heavy rains. UNESCO. Cemagref Editions.
- Madsen H y Rosbjerg D. 1997. Recent advances in modelling of extreme hydrologic events. *Hydroinformatics 98*, Balkema, Vol. 2, 1129 – 1136.
- Mamedov, M. A. 1978. On empirical formulas for the guaranteed probability use in hydrological calculations. *Meteorology and Hydrology No 2.*, Leningrad.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2006. Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y procesos de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM No 168, Sexta edición, Ginebra, Suiza.
- Pérez Monteagudo O. 1983. Metodología para el cálculo de la intensidad-duración-frecuencia de las lluvias en Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. La Habana. Cuba.
- Pizarro, R. 2001. Análisis comparativo de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (*IDF*) en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Universidad de Talca. Chile.
- Planos, E. 1996. Riesgos hidrometeorológicos en Cuba. IV Congreso Internacional de Desastres. La Habana, Cuba.
- Planos, E., Limia, M. y Vega, R. 2005. Intensidad de las precipitaciones en Cuba. Informe científico del Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
- Planos, E., Limia, M., Vega, R., Hernández, M. y Boude, D. 2012. Características y causas de las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas en Cuba. Reporte científico del Instituto de Meteorología. Programa Científico Técnico ramal "Análisis y pronóstico del tiempo terrestre y espacial. La Habana. Cuba.
- Shanin, M., Van Oorschot, H.J.L., de Lange, S.J. 1993. "Statistical Analysis in Water Resources Engineering". Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Sevruk B., y Geiger, H., 1981. Selection of distribution types for extremes of precipitation. WMO No. 560. World Meteorological organization. Geneva.
- Trusov, I. I., Hernández E., y Crespo. E. 1986. Intensidades máximas de las precipitaciones en las regiones naturales de Cuba. Reporte de Investigación No 5, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.

CIUDADES CUENCA: LO POLÍTICO EN LA RECONFIGURACIÓN HIDROLÓGICA MEXICANA (LOS CASOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SAN LUIS POTOSÍ, LEÓN, GUADALAJARA Y MONTERREY)*

CITIES-BASIN: THE POLITICIAN IN MEXICAN HYDROLOGICAL RECONFIGURATION (THE CASES OF THE CITIES OF MONTERREY, GUADALAJARA, LEON, SAN LUIS POTOSI AND MEXICO CITY)

Jaime Peña Ramírez*

Resumen

Una serie de condiciones han dado lugar al concepto de desarrollo sostenible, entre ellas, la llamada crisis del agua. Tales condiciones no han variado, en el caso de México, sino tienden a agudizarse en el período reciente, si examinamos el fenómeno desde una perspectiva histórica que abarque los últimos sesenta años. Por una parte, la relación hídrica urbano-rural agudiza procesos de contaminación de hábitats, alimentos y personas, amén de conflictos por los usos del recurso. Ante la escasez relativa de agua azul para las ciudades en crecimiento, se van ensayando opciones que conducen a una reconfiguración hidrológica (entendida como expresión de los cambios artificiales impulsados por el hombre sobre el devenir del agua) asociada a desajustes de los ciclos del agua que aceleran el deterioro del recurso nacional, así como a la aparición de diferentes manifestaciones de dicha crisis. Las cuencas han perdido sus parteaguas; las urbes definen el correr del agua y expulsan a otras cuencas la negra que produjeron, de tal modo que el ensayo analiza estos fenómenos desde la ecología política (entendiendo por ésta la ciencia que estudia la relación hombre-naturaleza, siguiendo los hilos de poder entre los hombres, que dan como resultado esta relación; en esta relación resaltan los conceptos de Estado y capital, utilizados por el autor como relaciones sociales, tal como la mercancía agua embotellada implica una relación de poder entre los hombres que repercute en la naturaleza). El autor propone el concepto de ciudad-cuenca, al descubrir algunas recurrencias en la observación de cinco casos; en ellos se constata la conformación, como fenómeno histórico social, de un espacio beneficiario del agua superficial y subterránea de su cuenca, que presiona sobre el recurso porque resulta insuficiente a su crecimiento como urbe; lo utiliza y lo contamina para enviarlo fuera, sin tratamiento alguno; a la vez, obtiene agua de cuencas vecinas mediante trasvases. El crecimiento de la ciudad cuenca justifica mayores demandas de agua y por tanto, la persistencia del proceso de deterioro del recurso y de las injusticias hídricas. El ensayo, como producto del pensar crítico, no es complaciente con el quehacer humano frente al agua; inclusive puede resultar molesto y polémico; sin embargo, reconocer la existencia de esta Ley de comportamiento que describe, podría servir para fines analíticos en el ámbito científico social; como elemento de planificación en la política hídrica y como un modo diferente de sugerir una nueva cultura del agua; todo ello, sin temor al conflicto, sino como posibilidad de aprovecharlo para abrir nuevos cauces al entendimiento humano y a nuestra relación con la naturaleza.

Palabras clave: ecología política, ciudad-cuenca, crisis del agua, reconfiguración hidrológica.

Abstract

A series of conditions have given place to the sustainable development concept, among them the so-called water crisis. Such conditions have not varied in México's situation, but tend to sharpen in the recent period, if we examine the phenomenon from a historic perspective that includes the last sixty years. On one hand, the urban rural relation with the water, sharpens the processes of pollution of habitats, food and people, in addition to disputes of the resource uses. In the face of the relative scarcity of blue water for the growing cities, options that conduct to a hydrological reconfiguration are being tested (comprehended as an expression of artificial changes driven by men over the future of water) associated to an imbalance in the water cycles that bring forward the deterioration of the national resource as well as the emergence of different demonstrations of such crisis). The catchment areas have lost their watersheds, major cities define the flow of the water and throw out the wastewater they produced to other catchment areas in such a way that this essay analyzes this phenomena from the political ecology (comprehended as the science that studies the relationship between man and nature, following the strings of power among men, which give as a result this relationship; in this the concepts such as State and resources used by the author as social relations, such as the bottled water merchandise implies a link of power among men that has consequences in nature). The author suggests the concept of city-watershed when some recurrences are discovered while observing the five cases; in them, the formation of a beneficiary space for surface and underground water of its catchment area as a social and historical phenomenon that pressures the resource, because it is insufficient for its growth as a city. This city uses the resource and pollutes it to send it off, without any previous treatment; at the same time,

* Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de estudios superiores Acatlán, iper48@yahoo.com.mx.

it gets water from neighbor catchment areas through decanting. The growth of the city-catchment area justifies greater demands on water and, therefore, the persistence in the deterioration process of the resource and the water iniquity. The essay, as a product of critical thinking, is not indulgent with the human endeavor facing water; it may even result upsetting and controversial. However, recognizing the existence of this Law of behavior that describes, it might help for analytical purposes in the social-scientific field; as an element of planning in the politics of water policy and as a different way of suggesting a new culture of water, all of this without any fear of conflict, but as a possibility of taking advantage of it in order to open new channels for human understanding and for our relationship with nature.

Key words: political ecology, city–basin, water crisis, hidrologycal reconfiguration.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano industrial en México, como en Latinoamérica, deviene explosivo, generando metrópolis, megalópolis o metápolis como se les llama ahora. El proceso toma fuerza inusitada, sin precedentes, durante el siglo XX, cambiando la relación demográfica rural-urbana de 80-20% a 20-80%, de inicio a fin de siglo. En tal contexto, la creciente demanda de agua conduce a una serie de fenómenos calificados como crisis del agua. Las grandes ciudades, por lo demás, no sufren la crisis, sino la provocan para satisfacer su creciente sed; ya satisfecha, traducen el privilegio en resorte de crecimiento urbano que justifica más agua para la ciudad, al igual que los energéticos, alimentos y servicios de toda naturaleza que se van concentrando en ella. Así, lo urbano se impone sobre lo rural, impulsando procesos de contaminación industrial, amén de conflictos por el uso del recurso; a la vez, esto acelera el deterioro y sobreexplotación del agua que obliga a los gobiernos a ensayar opciones ante la crisis del agua en sus diferentes expresiones, que conducen a una reconfiguración hidrológica (entendida como cambio artificial del correr del agua y de su calidad), acompañada de desajustes de los ciclos del agua que aceleran el deterioro de las condiciones que garantizan su devenir. Este ensayo analiza el proceso desde la ecología política (entendiendo por ésta la ciencia que estudia la relación hombre-naturaleza, siguiendo los hilos de poder entre los hombres que dan como resultado esta relación) y postulando el concepto de ciudad-cuenca, (Peña: 2010).

METODOLOGÍA

Para desarrollar nuestro trabajo de investigación, elegimos algunas urbes de importancia demográfica, por ser centros de negocios y actividad administrativa; todas ellas demandan agua por su tamaño o por virtud de su futuro crecimiento y se imponen sobre el resto del espacio nacional, incorporando pequeñas poblaciones, cambiando usos del suelo, empleos, costumbres y actividades; pero las características principales son: **se trata de ciudades que agotan y contaminan el agua disponible en su espacio, recurrentes después a fuentes de abastecimiento externo y envían la contaminada aguas abajo, hacia otras cuencas.** Esta Ley histórico-social de comportamiento que nombramos ciudad-cuenca, la percibimos en cada una de las ciudades elegidas.

Estas fueron visitadas en varias ocasiones durante 2007-2011, identificando sus principales características hídricas de abasto, tratamiento y expulsión del agua en la historia reciente (de 1950 a 2010); se hizo un recorrido físico por la infraestructura hídrica principal, se entrevistaron personajes de alta calidad técnica en cada una de ellas, así como a personas de la sociedad civil conocedoras del tema; todo ello, para graficar cabalmente la conformación de la ciudad cuenca en cuestión.

Enseguida sintetizamos los hallazgos principales.

RESULTADOS

Manifestaciones generales de la crisis del agua

En México, las autoridades reconocen al menos tres expresiones de la crisis del agua: la contaminación por el uso urbano-industrial, y por la moderna agricultura bajo irrigación; la sobreexplotación de los acuíferos (que transita de 32 a más de cien sobreexplotados de 1975 a 2006, tabla 1) lo cual conduce, a su vez, a los hundimientos del subsuelo y a la contaminación por sales minerales del agua que se extrae de ellos en el norte del país y por sales marinas en las costas. Estos dos fenómenos contribuyen a la tercera expresión reconocida: la escasez relativa del agua en las grandes urbes en crecimiento (baja disponibilidad y alta presión hídrica) las cuales, en contrapunto, sufren inundaciones recurrentes como una cuarta manifestación de la llamada crisis del agua. Otro efecto menos referido en los diagnósticos oficiales, que puede verse también como resultado de la crisis, remite a una transmutación acelerada del agua en una mercancía, tanto embotellada para beber, como privatizada parcialmente en varias modalidades de los usos públicos (medición, cobro, administración, tratamiento, reutilización), entre ellas, el pago de servicios ambientales a comunidades asentadas en regiones forestales que contribuyen a preservar el agua. Otra modalidad de la mercantilización, es el cobro de la Comisión Nacional del Agua (Conagua en adelante, agencia reguladora del agua en México) por descargas de aguas residuales en los efluentes industriales. La privatización y mercantilización se resiente en México en los últimos veinte años, mientras que los restantes fenómenos de crisis están presentes desde la mitad del siglo XX y se agudizan al entrar los ochenta, confluyendo en la actualidad para dar cuerpo a todo un proceso de

crisis del agua, el cual pasamos a revisar con mayor detenimiento.

Tabla 1: Crecimiento de acuíferos sobreexplotados en México

Año	Número de acuíferos sobreexplotados
1975	32
1981	36
1985	80
2001	97
2003	102
2006	104

Fuente: Estadísticas del Agua en México, Conagua, 2008, México en CD.

Sorteando la crisis del agua

Las ciudades cuenca se caracterizan por **adelantar su provisión de agua antes que la demanda les rebase**, de aquí se explica que ellas cuenten con altos porcentajes de atención al interior de la vivienda, en relación al resto de las urbes y de las pequeñas comunidades rurales (Conagua, EAM: 2010). El habitante rural no logra el status de ciudadano si tenemos como referencia su disponibilidad de agua al interior de la vivienda, mientras que en las grandes urbes, la carencia del agua toca áreas marginales, pero no a la ciudad como un todo. Esta tiene problemas sólo en ocasiones especiales. Enseguida analizamos las características hidrológicas de cada una de ellas y las respuestas que han recibido los aspectos más pronunciados de crisis.

2.1 Ciudad de México

La ciudad de México, ubicada en una cuenca cerrada al centro de la república, produce un volumen de agua residual de 52 m³/s que vierte al río Tula (Balance hidrológico elaborado con datos del 2000, ver Peña: 2004) afluente del río Moctezuma, tributario del río Pánuco, cuyas aguas tienen como destino final el Golfo de México. Siendo una cuenca cerrada la de México con cerca de 20 millones de habitantes, esto se ha logrado mediante la expulsión del agua por el norte, a partir de 1789 (Vela Ramírez, en Conagua: 2012). La construcción de grandes obras de drenaje de la cuenca abarca cuatrocientos años de historia nacional de desecación de la cuenca; desde el Tajo de Nochistongo concebido por Enrico Martínez, quien inició la construcción de lo que hoy es el desagüe de la Ciudad al arrancar el siglo XVII, hasta el drenaje profundo de nuestros días, iniciado en los setenta del siglo XX, obra que continúa en construcción. Este caso es el más estudiado; ha sido abordado por muchos autores entre los que destacan: Aboites; 1998; Perló; 1999; Perló y González; 2005; Legorreta, en Barkin.; 2006; Ezcurra; 2006; Ji-

ménez B. 2007 y 2008; Avila García P: 2002; Conagua: 2012.

El crecimiento de la urbe condujo, desde la mitad del siglo XIX, a la explotación de los acuíferos subterráneos someros, al reducirse la disponibilidad de los manantiales y cuerpos de agua dulce de la cuenca. En el siglo XX se recurrió al acuífero de mayor profundidad con la nueva tecnología de perforación y bombeo. Esto generó la sobreexplotación de los mantos y la búsqueda de fuentes alternativas, entre las que destaca la importación de agua de la vecina cuenca alta del río Lerma en los cincuenta. La sobreexplotación no se detuvo por ello; se estima un balance hidrológico negativo para la cuenca (31 m³/s en el año 2000), a pesar de que se importan alrededor de 20 metros cúbicos por segundo de las cuencas del Cutzamala (afluente del río Balsas) y del Lerma. La ciudad extrae también agua subterránea del norte de la cuenca y se dispone a traer agua del río Tecolutla (orientado al Golfo de México), del alto Tula y del Amacuzac, afluente del río Balsas. Así, la ciudad impacta su cuenca extrayendo más agua de la que se recarga en los acuíferos en una proporción de dos a uno, con el consecuente hundimiento que afecta las redes de distribución y drenaje; extrae de tres cuencas de importancia nacional el agua que va necesitando y envía la contaminada al río Pánuco. Se estima un consumo de la urbe de 68 metros cúbicos por segundo, de los cuales 46.3 (el 68%) provienen del subsuelo y el resto, del exterior, 6 de la cuenca del río Lerma y 15.7 del Cutzamala, afluente del Balsas. Perló y González documentan los conflictos que se han generado entre el gobierno de la ciudad de México y el estado de México, así como los reclamos de las poblaciones del Sistema Cutzamala, sugiriendo calificar el proceso como una guerra por el agua (2005).

Al norte de la ciudad hay una agricultura con más de 100,000 ha bajo riego con aguas residuales crudas de la urbe. Los habitantes rurales de esta región reciben los beneficios del riego, pero sufren problemas de salud por la extrema contaminación del agua que se dispersa en el área. Esta afecta los suelos y todo cuerpo de agua que encuentra y arrastra miles de toneladas de basura. El balance de los daños al área rural y a los ecosistemas que toca el agua residual en su viaje al mar no ha sido elaborado. Las poblaciones afectadas son de Hidalgo, Veracruz y Tamaulipas. En lo inmediato, son los indígenas del valle El Mezquital quienes reciben el agua negra de la ciudad; enseguida las recibe la presa Zimapán para generar energía eléctrica y luego, con mayor suavidad en su recorrido al mar, toca la cuenca del río Pánuco en la planicie costera del Golfo de México, hábitat que da cobijo a más de sesenta variedades de peces de escama y a una rica biodiversidad.

Operar la impresionante infraestructura hidráulica de abasto y expulsión y cubrir los altos costos de energía y mantenimiento es complejo, mientras que el riesgo de quedar sin agua, forma parte de la vida

cotidiana y el de sabotaje, es inminente, porque el caudal de abasto exterior más importante tiene una sola entrada, al igual que el de expulsión. La contaminación del agua es un tema-problema vigente que ha dado lugar a proyectar macroplantas de tratamiento que servirán para detener la contaminación, pero también permitirán disponer de más agua para la ciudad. Otra de las opciones de abastecimiento es el cambio de agua limpia utilizada en la agricultura por agua contaminada o en el mejor de los casos, por agua tratada en un primer nivel. Este último aspecto se reconoce por los especialistas y de hecho, ya se practica.

La agricultura generada por la gran urbe, en este encuadre, desde principios del siglo XX, ha sido de hortalizas y granos que demanda la ciudad y para el autoconsumo de los productores del área. En los noventa del siglo, las autoridades restringieron el uso de esta agua para cultivos de consumo directo que pueden contaminarse fácilmente por su contacto con el agua residual; sin embargo, esta restricción sigue sin aplicarse hasta hoy en día.

En cuanto a la extracción de agua de otras cuencas para la ciudad, las protestas se han acallado de múltiples maneras.

En síntesis, la cuenca de México, con cerca de la tercera parte de la industria nacional extrae agua del exterior, sobreexplota su acuífero en el doble de su recarga y envía fuera de su cuenca su agua utilizada sin tratamiento alguno. Es ejemplo nacional de ciudad-cuenca; mismo que han seguido, con sus debidas proporciones, el resto de las urbes que enseguida analizamos.

Un comentario adicional y necesario, es que el evitar o prevenir la crisis de escasez del agua en la gran urbe trasciende partidos y gobiernos, inclusive, las convicciones personales más íntimas, tal como el caso del presidente José López Portillo (1977-1982) que después de inaugurar el sistema Cutzamala lo calificaba en su diario como *Otra hazaña de lo absurdo* (Citado en Perló y González: 2009:45). La política de desecación, por su parte, trasciende las diferentes modalidades de Estado desde el siglo XVII y tal vez, desde el imperio azteca, construyendo su gran urbe.

2.2 San Luis Potosí

La ciudad de San Luis Potosí se ubica a 400 km aproximadamente de la ciudad de México, en la puerta hacia el desierto norteño (precipitación media anual de 402mm), en una cuenca cerrada igual que el caso anterior; con cerca de un millón de habitantes, consume tres metros cúbicos por segundo aproximadamente. Su abastecimiento de agua lo cubre con tres pequeñas presas (3%) y el resto con agua subterránea (Conagua-Cotas, San Luis Potosí, 2005: pp 49, en CD). Toda el agua superficial se ocupa en el uso público urbano y la agricultura cuenta sólo con agua residual. La Conagua identifica un alto

nivel de sobreexplotación de los acuíferos, resultado de la presión hídrica; acepta que hay un *minado* del recurso de dos por uno de recarga, con impactos visibles en el hundimiento del suelo, agrietamientos, contaminación por sales del agua extraída o mayores costos de extracción. Esta conduce a extraer sales minerales con el agua vieja confinada que afectan la salud humana (flúor). Ante ello, dos fuentes de abasto exterior se están gestionando para asegurar el crecimiento de la ciudad: intercambiar agua residual por agua limpia que utiliza la termoeléctrica de Villa de Reyes, ubicada sobre el acuífero de Jaral de Berrios, a partir del tanque Tenorio en donde se tratará el agua residual a un nivel primario y la otra opción, que suma a la oferta un metro cúbico por segundo de agua limpia, de la presa El Realito, ubicada sobre el río Santa María, perteneciente a la cuenca del río Pánuco. Se aspira a tratar el 98% de las aguas residuales que reciben los sistemas de drenaje. Así, la escasez para algunos usos tiene solución tratando el agua residual, porque este camino genera un volumen que se acerca al utilizado y expulsado por la urbe en cuestión; no obstante, esta opción no atiende el origen del problema de contaminación y plantea un problema sin solución ante el esquema de crecimiento demográfico y económico vigente, el cual se impulsa si más agua se tiene a la mano. Así, en palabras de un funcionario del organismo operador del agua de la ciudad: *De inmediato, dejaremos de explotar algunos pozos al disponer del agua de El Realito, pero con el ritmo de crecimiento de la ciudad, acudiremos de nuevo al acuífero en unos cuantos años* (entrevista en enero del 2009).

A nivel de la ciudad en general, enseguida enumeramos algunos aspectos de interés relacionados con el agua.

En el occidente del valle de San Luis Potosí, un agudo investigador (F.Peña en entrevista, 2009) hace visible la instalación de elegantes fraccionamientos en la sierra de San Miguelito, declarada zona de recarga por su función de esponja retenedora del agua de lluvia que alimenta el acuífero. Otros entrevistados hablaban de los intereses que ahí se están moviendo, ligados a algunos prominentes apellidos, entre ellos, el actual gobernador del estado. Aquí cabe mencionar la lucha del ejido Guadalupe, ubicado en esta sierra que va perdiendo terreno ante el empuje del gran capital.

Hacia el oriente del valle, la ciudad tiene a Minera San Xavier en el municipio de San Pedro, empresa que explota el oro en la actualidad a pesar de leyes y protestas ciudadanas; ha sido eje de conflicto contra las políticas públicas que permiten su funcionamiento con sus impactos ambientales adversos. Las minas a cielo abierto no se llevan los cactus y la escasa capa vegetal del desierto: destruyen los cerros por completo. Los daños relativos al agua han sido denunciados principalmente por el Frente Amplio Opositor, por el riesgo de contaminación con cianuro.

nuro utilizado en el proceso productivo minero (Peña y Herrera, en Costero:2006: 151).

El uso del agua residual en la agricultura cubre 2,652 ha con un 68% de alfalfa sembrada, 28% de otros forrajes, 6% de frijol, nopal y hortaliza (calabaza, coliflor y espinaca) (Conagua-Cotas:2005:44). *Aunque las aguas residuales no suelen ser usadas para este último tipo de cultivo*, afirma el documento citado. La ciudad fue generando con el agua residual, el área agrícola; Cirelli (1999 y 2004) califica esta superficie como *filtro biológico*, con lo cual no estamos totalmente de acuerdo, puesto que la agricultura es incapaz de procesar los componentes industriales y excretas de los servicios de toda naturaleza, incluyendo hospitales, ni los componentes químicos y tóxicos del uso doméstico. Puede ser un área receptora de todo ello, pero no procesadora, tal como los residuos del tratamiento del agua tienen que contar con un destino para ser confinados, el área agrícola requiere de saneamiento.

La opción de intercambiar aguas de distintos colores y sabores se ha calificado como *sustentable* por los programas oficiales, pero contribuye a sobreexplotar el acuífero vecino, ya sobreexplotado, de Jaral de Berrios-Villa de Reyes. Los estudios geohidrológicos señalan, por lo demás, que se trata de un solo acuífero.

2.3. León

Esta urbe se ubica en un rincón del norte de la cuenca Lerma Chapala. Su ubicación le favorece hidrológicamente en relación al resto de las ciudades de Guanajuato, porque se instala en la cabeza de los acuíferos superficiales y subterráneos del área; se abastece igual que San Luis Potosí, en muy poca medida de los almacenamientos superficiales (3%) y del acuífero sobre el que descansa, así como del acuífero La Muralla, ubicado al sur, distante a 40 km. En un futuro se abastecerá de un acueducto proveniente de la presa El Zapotillo, programada para construirse en el vecino estado de Jalisco, sobre el río Verde, tributario del río Santiago. Este proyecto ha sido rechazado por los habitantes que serán afectados por la inundación del vaso, al elevarse la cortina más allá del proyecto original. El Zapotillo garantiza el crecimiento de León, más que satisfacer su demanda actual; el agua actuará como resorte del crecimiento y crecer demandará más agua como en toda ciudad-cuenca. La urbe con su industria y agricultura del propio municipio, presionan al acuífero local y a los acuíferos vecinos, como el de La Muralla, reclamado por el municipio de Romita. Además, la contaminación de la curtiduría ha dañado los cuerpos de agua, escurrimientos superficiales y subterráneos de aguas abajo. La contaminación se atiende con una planta de tratamiento municipal en funcionamiento, con capacidad de procesar entre 1200-1400 litros cúbicos por segundo de las aguas residuales de la ciudad y aspira a tratar 2000. El agua tratada a

un nivel primario, se envía de nuevo al cauce del río Turbio, afluente del Lerma y en parte, se utiliza en la agricultura del suroeste de la ciudad y se venderá a los curtidores reubicados cerca de la planta.

El tratamiento municipal atenuó el conflicto que existía entre la ciudad y los ejidos irrigados con aguas residuales con derecho al riego; antes de que iniciara su operación en el 2005, el caudal que recibían los campesinos era insuficiente y muy contaminado, de tal modo que el riego era un verdadero problema. Sin embargo, en los últimos ciclos ha disminuido el problema porque el agua de la planta es suficiente, inclusive parte de ella escurre por el río Turbio y su calidad también ha mejorado. Se ha prometido a los campesinos que en el futuro recibirán el agua con un tratamiento secundario que les permitirá sembrar hortalizas y no sólo granos como hasta ahora.

La explotación del agua subterránea en la entidad se ha acelerado en los últimos años: el Estado mexicano establece vedas desde los cuarenta, hasta emitir una veda total en 1983 y sin embargo, él mismo se ve precisado a violarla ante la presión de las urbes. La comparación que hace la CEAG (Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato) entre el crecimiento de pozos y la emisión de las vedas parece una broma de mal gusto, porque entre más vedas, mayor número de pozos aparecen. Esto, por lo demás, es común en los sitios de sobreexplotación. Otro hecho explicable sólo desde la ecología política, fue la creación de un acuífero más por el organismo estatal de agua, al calor de la lucha social por el agua entre Romita y León. El conflicto surgió entre la ciudad de León con Romita (municipio vecino del sur de León, con alrededor de 5000 habitantes) por el agua del acuífero La Muralla, ubicado al este del poblado de Romita y al sureste de León, identificado como acuífero independiente por la CEAG; sin embargo, no aparece en el Diario Oficial de 2003 y pertenece al acuífero de Silao-Romita, según los habitantes de este último municipio. Este conflicto no ha sido resuelto del todo y tiene sus raíces en la fuerza que ha tomado la ciudad de León en últimas fechas.

2.4 Guadalajara

Esta urbe consume alrededor de 11 metros cúbicos por segundo; se abastece del lago de Chapala principalmente (7.5 M3S), de otro río cercano (Calderón) ubicado también fuera de su cuenca, obtiene 1.5 M3S y espera tener 3 más en el futuro inmediato, del río Verde, afluente del Santiago sobre el que se construye la presa El Zapotillo; de este tomará agua León, como lo indicamos y otras pequeñas urbes de Los Altos de Jalisco. Otra fuente de abastecimiento son los pozos profundos que se han perforado en la ciudad.

La ciudad y la industria se han preocupado más por el agua que demandan que por la calidad de la que expulsan (Durán, et al. 2005) Esto es un gran problema en la actualidad. El color negro del agua y el

olor, alejan del río a los amantes de la vida, pero las protestas ecologistas arreciaron ante la muerte de un niño que cayó en las aguas del Santiago el año de 2008 y murió por intoxicación. Esto fue confirmado por la Comisión Nacional de Derechos Humanos: *Por alta contaminación del río Santiago, la muerte de un menor en 2008, confirma la CNDH. Pide a la Conagua resarcir daños a familiares y advertir sobre la peligrosidad de las aguas*, (La Jornada 14 de marzo de 2010). Así, una institución del Estado recomienda a otra cumplir sus funciones.

La escasez de agua para consumo humano fue resuelta parcialmente por la ciudad en la segunda mitad del siglo acudiendo al agua subterránea; esto condujo a la sobreexplotación de los acuíferos, pero la solución de mayor impacto fue el trasvase de agua de Chapala. Esta opción ha provocado conflictos con pescadores, ambientalistas, agricultores y habitantes del lago, sobre todo en estío, cuando se encuentra más bajo de nivel, en cuyo caso se afecta la vida misma del lago puesto que requiere un cierto nivel mínimo de agua para preservar el hábitat; por ello se ha pensando en la urgencia de implementar otras opciones. Entre ellas, resolver el problema de la contaminación que permitiría atender directamente su relativa escasez; sin embargo, para lograrlo hay que vencer muchas resistencias, algunas de ellas culturales y las más agudas, económicas, en tanto se borran las llamadas *economías externas* de las industrias. El actual sistema de abasto de Chapala será difícil de sustituir aún con los 3 M3S de El Zapotillo; la ciudad mantiene la tendencia a reconfigurar la hidrología regional impulsando la presa El Purgatorio sobre el río Santiago, la cual sustituye el frustrado proyecto Arcediano, opción muy discutida y rechazada porque implicaba corrupciones, intereses mezquinos y suciedad en el agua, amén de problemas geológicos en el sitio elegido para el desplante de la cortina. Se eliminó, sin tener la seguridad de la presa El Purgatorio; la opción más firme que es El Zapotillo, se encuentra en difícil procesamiento social con los futuros afectados por el aumento del nivel del embalse, con los pueblos de Temacapulín, Palmarejo y Acásico, del municipio de Cañada de Obregón, Jalisco; estos no han dejado de protestar frente a declaraciones estatales de que ya existe un acuerdo: *La presa El Zapotillo va, pese a protestas: Conagua*, (La Jornada, 17 de marzo de 2010). En tal encuadre, Guadalajara tiene sólo asegurada el agua residual tratada de sus futuras macroplantas de tratamiento.

2.5. Monterrey

Para resolver la escasez, esta urbe industrial extiende sus tentáculos primero hacia su propia cuenca 1950-1980 (acuíferos, manantiales, galerías filtrantes de su propio espacio, pozos profundos vecinos de Mina y Huasteca posteriormente y presa La Boca, ubicada al sur de la ciudad); siendo insuficientes,

recurre a una cuenca vecina en 1984 (presa Cerro Prieto, terminada en este año, situada al sur, en Linares, a 110 km); posteriormente, en los noventa, se elige la presa El Cuchillo, como una opción de abastecimiento de su propia cuenca; sin embargo, en este caso las aguas estaban comprometidas para el riego de un distrito tamaulipeco (Aguilar: 2006, en Barkin; Peña: 2004; Sheridan y Cerutti: 2011). A principios del nuevo siglo ya miran los industriales hacia el río Pánuco ubicado a 400 km al sur, del cual ya tienen autorizado extraer para Monterrey 3 metros cúbicos por segundo y se habla en estos meses de verano del 2013, de 14 M3S. El río Grijalva, en Tabasco, no está eliminado como opción de abastecimiento por los emprendedores hombres de negocios de Monterrey. Estas últimas propuestas, de los ríos del sureste, aprovecharían las líneas del sistema petrolífero nacional orientadas hacia Cadereyta, Nuevo León. Tal vez estas opciones de abastecimiento se impongan a futuro, con mayor tensión social entre los habitantes de estos espacios y por supuesto, mayores costos ambientales para el hábitat y sobre todo, grandes riesgos ante huracanes, sismos y sabotajes.

El tratamiento de las aguas residuales municipales (10 M3S en cuatro plantas de tratamiento) ha sido un ejemplo nacional a seguir; disponer de agua tratada sirvió para suavizar los conflictos con los agricultores afectados (estos ganaron un caudal de 5 M3S después de muchas negociaciones); con el tratamiento, se ensaya una solución más seria a la demanda de agua industrial y para otros fines menos exigentes de calidad del agua, incluyendo la agricultura. No obstante, los acuíferos del área siguen siendo imprescindibles; han sido sobreexplotados hasta producir cavernas en el subsuelo regiomontano (Aguilar: 2006 en Barkin).

Haciendo un breve balance histórico del agua en Monterrey, vemos una industria muy contaminante a principios del Siglo XX, que envenena el agua y posteriormente, a fines del mismo siglo, la industria recompone el camino al enfrentar todos los habitantes, sus obreros y sus propios procesos productivos, la escasez del agua. Surge entonces el llamado saneamiento o tratamiento del agua utilizada y el reuso como opción para garantizar el crecimiento industrial y urbano de Monterrey. Así, al parecer, la gestión del agua, tomada por el Sistema de Aguas de Monterrey (SADM), tiende a resolver las expresiones más agudas de crisis recurrente del agua. Este actor se mueve entre el Estado y el capital industrial y bajo inspiración y apoyo de este, no deja de postular soluciones; la clase obrera sigue el ritmo de los cambios de la privatización a la estatización sin estorbar en los cuarenta, bajo una bandera nacionalista y regional, pero inclusive la empresa SADM, ante la presión neoprivatizadora de los ochenta y noventa, no afloja riendas en su liderazgo sobre la gestión del agua. Al parecer, más bien sufre el recelo de los aparatos de Estado (federal) como son la Semarnat-Conagua,

Secretaría de Salubridad y de Hacienda, así mismo, con una legislación que dificulta sus tareas.

DISCUSION

A. Las leyes de comportamiento de las ciudades cuenca

Conforme a lo descrito, las ciudades cuenca imponen sus reales sobre el agua de más allá de su cuenca ante sus necesidades de abasto y de expulsión del agua contaminada que generan, después de presionar y en ocasiones, agotar sus recursos hídricos. Generan una nueva hidrología contribuyendo a desajustes hidrológicos; cambian la calidad del agua nacional en un proceso sin retorno. En caso de tratar sus efluentes hasta lograr una alta calidad del agua, las ciudades cuenca tienden a disponer de ella en primera instancia, para destinarla a los diferentes usos urbanos. Ejercen, en síntesis, una serie de injusticias hídricas y generan un conjunto de conflictos tal como en el mundo se expresan (ver Isch L, Edgar et al, 2012).

En nuestros casos, el abasto ha seguido un patrón muy similar. Las fuentes de abastecimiento del agua en las urbes eran los manantiales, ríos, arroyos y agua superficial, así como agua subterránea somera; en la etapa prehispánica, las fuentes naturales, acueductos, galerías filtrantes, los cenotes entre otros, eran auxiliados con estructuras hidráulicas como los acueductos; posteriormente, durante la colonia, estos se complementan con las presas de almacenamiento. En todas las urbes se registra la presión sobre los acuíferos locales ya durante el siglo XX, hasta manifestarse signos claros de sobreexplotación: agotamiento de los mantos, baja de los niveles freáticos y contaminación por sales minerales, entre otros. Se puede constatar, en el mismo tenor, la sobreexplotación de los acuíferos, después el cegamiento de los ríos con cemento y la desaparición de manantiales. Sobre los antiguos ríos y arroyos empiezan a correr más que agua, automóviles. En los casos elegidos, el abasto sigue los mismos impulsos que en la gran urbe metropolitana de México; aunque en menor magnitud que este caso *madre*, la sobreexplotación se hace presente y la contaminación inmanejable para garantizar la calidad del agua. La tendencia actual es obtener agua tratada para la ciudad al estilo de Monterrey, bajo el amparo y la presión de los organismos internacionales, sobre todo en los casos más graves de Guadalajara y México: en ellas participan empresarios interesados en el gestionar el futuro monopolio del agua tratada. Con todo, atienden el efecto más que el origen de la contaminación.

B. La reconfiguración hidrológica

Por el momento, las cuencas como la biología, van perdiendo su razón de ser, sus elementos definitivos

u objetos de estudio. La tecnología, la ciencia y la ambición, tal como diría un indígena de Morelos, permiten ahora ver correr el agua al capricho del hombre de la ciudad. Esta reúne gente tanto como agua, de todos los contornos. No hay lógica natural del devenir hídrico, ni ética ambiental. El espacio ocupado por la ciudad de México se desborda inclusive hacia las serranías del sur y el occidente, fuera de su cuenca, sellando con cemento las esponjas serranas boscosas que alimentan los acuíferos que dan vida a la urbe. Sin embargo, en lo esencial, la ciudad reconfigura la hidrología nacional. Hacia ella corre agua que originalmente tenía como destino el Pacífico, por los ríos Balsas y Lerma, reduciendo el agua disponible a otras ciudades y a la agricultura; desecando escurrimientos que daban vida a miles de toneladas de verde, las que a su vez, sostenían al resto de los seres vivos. En el caso del alto Lerma, se desecan también lagunas, manantiales y pozos profundos, generando peligrosos hundimientos y eliminando los bosques. Del alto Pánuco (río Tula) se obtiene agua con semejantes impactos; pero a la misma cuenca del Tula pero aguas abajo, en contrapartida, llega el agua contaminada de la ciudad con diferentes resultados en los hábitats y en el ser humano; el proceso transforma al campesino en un luchador por el líquido contaminante para irrigar sus cultivos de sobrevivencia o cultivos comerciales, con el propósito de regresar a la gran ciudad algo de las inmundicias que le manda. En la adversidad también, vemos la producción de la mojarra tilapia en las aguas contaminadas de la presa Alfajayucan, que se vende a 25 pesos el kilo: de la necesidad virtud, dirían los sabios. Sin embargo, la tilapia junto con los contaminantes que arrastra el río Tula, aguas abajo, dañará a las sesenta variedades de peces de escama que habitan el río Pánuco, las que a su vez, garantizan la vida y la cultura de sus habitantes. Del Pánuco también, tendrá agua San Luis Potosí y algunos pueblos de Guanajuato, la ciudad de México y Monterrey, reduciendo con ello el caudal de agua limpia de su desembocadura. En la otra vertiente, hacia el Pacífico corren los otros dos grandes ríos afectados por el despojo de agua para la gran ciudad de México y estamos frente a daños también inconmensurables. La ciudad de Guadalajara impacta Chapala al bajar la disponibilidad del lago y al Santiago, por la calidad. Este río despliega una gran vitalidad aguas abajo, hasta el Pacífico: hoy, está dañada. En los casos de San Luis Potosí y de León, el efecto negativo es al propio hábitat que comparten con su agricultura, mientras que Monterrey, disminuye el caudal del río Conchos afectando todo su hábitat, mientras que con su agua contaminada daña las poblaciones y agricultura de las márgenes del sur del río Bravo y finalmente al Golfo de México, receptor de enormes cantidades de basura durante el temporal, que se suman a la que arrastra el río Bravo normalmente, de las otras ciudades fronterizas del norte de México y sur de EUA.

Otra arista de la reconfiguración hidrológica es la competencia por el agua entre la ciudad y el campo y las grandes urbes contra las pequeñas. Una más, la producción de alimentos y la contaminación de los hábitats rurales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo sostenible o sustentable, conforme a lo descrito en este documento, está muy lejos de la realidad hídrica nacional, como quiera definirse, hasta como un desarrollo que perdura. El desarrollo rural o urbano, ahora sostenibles, son como nuestro partido verde, conceptos vacíos de contenido como lo sugiere Wolfgang Sachs (en Redclift:2002: 65). La consolidación de las ciudades-cuenca marca un camino histórico relativamente novedoso a partir de la mitad del siglo XX, de concentración de agua en función de la concentración del poder social en el espacio. Nos conduce a una etapa de privilegio absoluto de lo urbano industrial sobre lo rural agrícola, donde la naturaleza, incluso la humana, alcanza un gran valor y un ínfimo precio. La legislación nacional no puede prescindir de estas evidencias si aspira a la equidad hídrica entre regiones, hábitats y seres humanos.

Los aspectos legislativos a recomendar serían:

- Reconocer la existencia de la ciudad-cuenca como proceso social, con todas sus adversas características e implicaciones.
- Detener los efectos más pertinaces de su creación, impulso y desarrollo.
- Postular el principio elemental de **El agua de la cuenca para la cuenca**.
- Promover un uso del agua que respete los hábitats que dan cobijo a la vida toda.
- Atender con seriedad la contaminación del agua desde sus raíces y no solo sus manifestaciones.

Esto lo reclama el río Grijalva en el sur si le damos la palabra, por la contaminación que sufre en el bello paraje de El Sumidero a consecuencia del agua residual sin tratamiento que recibe de la ciudad capital del estado de Chiapas; el río Moctezuma, porque recibe toda el agua contaminada de la gran urbe y sufre la desecación en 25 kilómetros de su nacimiento; y más abajo, el Pánuco, por la extrema contaminación que recibe junto al inminente despojo de agua azul en el futuro inmediato; el río Yaqui por la amenaza del despojo hídrico a la tribu yaqui (y no trasvase porque este es concepto neutral), en favor de la ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora.

Escuchar a los ríos que están muriendo en las grandes urbes, a los que se saquean a favor de las ciudades o son contaminados por ella, a los que se trasvasan en el desierto o en las selvas veracruzanas, nos daría claridad del quehacer político y jurídico en su favor, en aras también de un verdadero desarrollo sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

Aboites, L., (1998): El agua de la nación. Una historia política de México (1888-1946), editorial CIESAS, México.

Avila García Patricia (editora) (2002) Agua, cultura y sociedad en México, El Colmich-IMTA, México.

Barkin David, coordinador (2006) La gestión del agua urbana en México, Retos debates, bienestar, Universidad de Guadalajara.

Cirelli Claudia (2004) Agua desechada, agua aprovechada. Cultivando en las márgenes de la ciudad, El Colsan.

(1999) El agua agrícola para las zonas urbanas. El caso de la ciudad de San Luis Potosí, El Colsan.

Durán Juárez Juan Manuel *et al* (coordinadores) (2005) Los Estudios del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala- Santiago II, El Colegio de Michoacán, A.C. y Universidad de Guadalajara, México.

Durán (2005 b) con Sánchez Martín y Escobar Antonio (editores) El Agua en la Historia de México, Cucsh/U de G.-Colmich, México.

Ezcurra Exequiel *et al.* (2006) La cuenca de México, CFE, México.

Isch L. Edgar, Boelens Rutgerd y Peña Francisco editores (2012) Agua, injusticia y conflictos, Justicia Hídrica, Universidad de Wageningen, Centro Regional de Estudios Andinos Fray Bartolomé de Las Casas CBC, Fondo Editorial PUCP e Instituto de Estudios Peruanos, Perú.

Jiménez Cisneros Blanca (2007) *La contaminación ambiental en México: causas efectos y tecnología*, editorial Limusa, México.

(2009) Conferencia en la FES Acatlán, Seminario INAP, en CD sobre la contaminación del agua subterránea en el sur de la ciudad de México.

Peña Francisco, coordinador (2004) Los pueblos indígenas y el agua: desafíos del Siglo XXI, El Colsan, WALIR, Semarnat-IMTA

(2006) en Barkin La Gestión del agua Urbana en México. Ensayo *El abasto de agua en San Luis Potosí*.

(2008) Con Edna Herrera, en Costero, *El Litigio de Minera San Xavier: una cronología*.

Peña Ramírez Jaime *et al*, Coordinador (2004) El agua espejo de los pueblos. Ensayos de ecología política sobre la crisis del agua en México, Plaza y Valdés, México.

(2010) Crisis del agua en México. Una interpretación sobre sus orígenes desde la ecología política, tesis doctoral noviembre, UAM Azcapotzalco.

(2012) Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y Ciudad de México (1950-2010, UNAM, Universidad Intercultural del Estado de México, México.

Perló Cohen Manuel (1999) El paradigma porfiriano. Historia del drenaje profundo del valle de México, editorial Porrúa-UNAM (PUEC-IIS), México.

Perló Cohen Manuel (2005) y González Reynoso Arsenio Ernesto, ¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio de las relaciones entre el Distrito Federal y el Estado de México. UNAM-CH-PUEC-Fundación Friedrich Ebert, México.

Documentos

CEAG (Comisión de Agua del estado de Guanajuato) (1998) Estudio geohidrológico y modelo matemático del acuífero del Valle del río Turbio, Guanajuato, Elaborado por GEOPSA, S.A. C.V, en CD proporcionado por la CEAG.

Diario Oficial de la Federación del 31 de enero de 2003.

SAPAL (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León) (1993) Acueducto La Muralla. Agua para León, firma el Consejo Directivo de 1987-1992.

Conagua-Semarnat-COTAS (Comité Técnico de Aguas Subterráneas) VALLE DE SLP (2005) *Estudio técnico del acuífero 2411*, San Luis Potosí.

Conagua: (2008) Presentación Proyectos emblemáticos, Gerencia, Guadalajara.

Conagua: Cotas SLP, (2008) Presentación en reunión nacional Plan de Manejo Integral. Cotas SLP: Proyecto Plan de Manejo del acuífero de San Luis (2005) en documento y en CD.

Conagua Semarnat. (2008) Estadísticas del Agua en México. Página web cna.

Conagua (2004) Estadísticas del agua en México, CD, SIUBA, Méx.

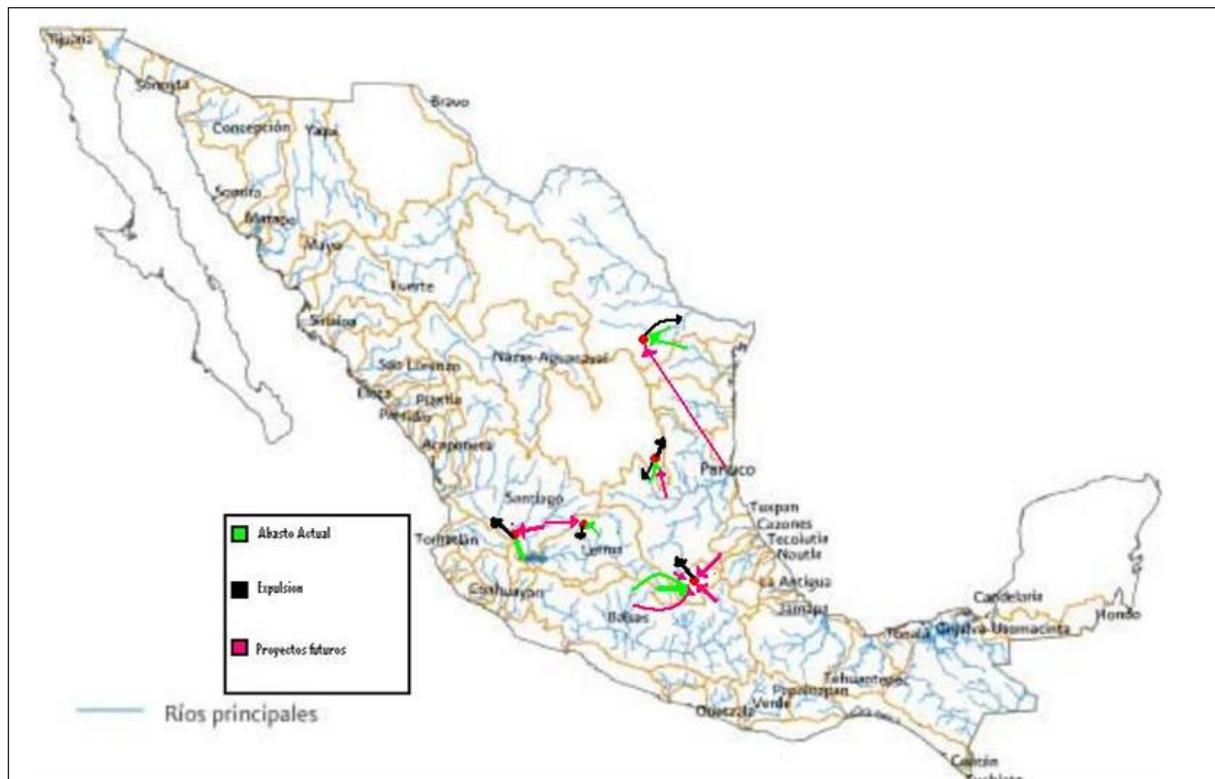
Conagua El agua en el Valle de México, 2012.

INAP Retos hídricos de las grandes metrópolis. Seminario sobre regiones metropolitanas, desarrollado en la FES Acatlán, UNAM, 2009-2010. Disponible en Internet, página del INAP.

Periódico:LaJornada

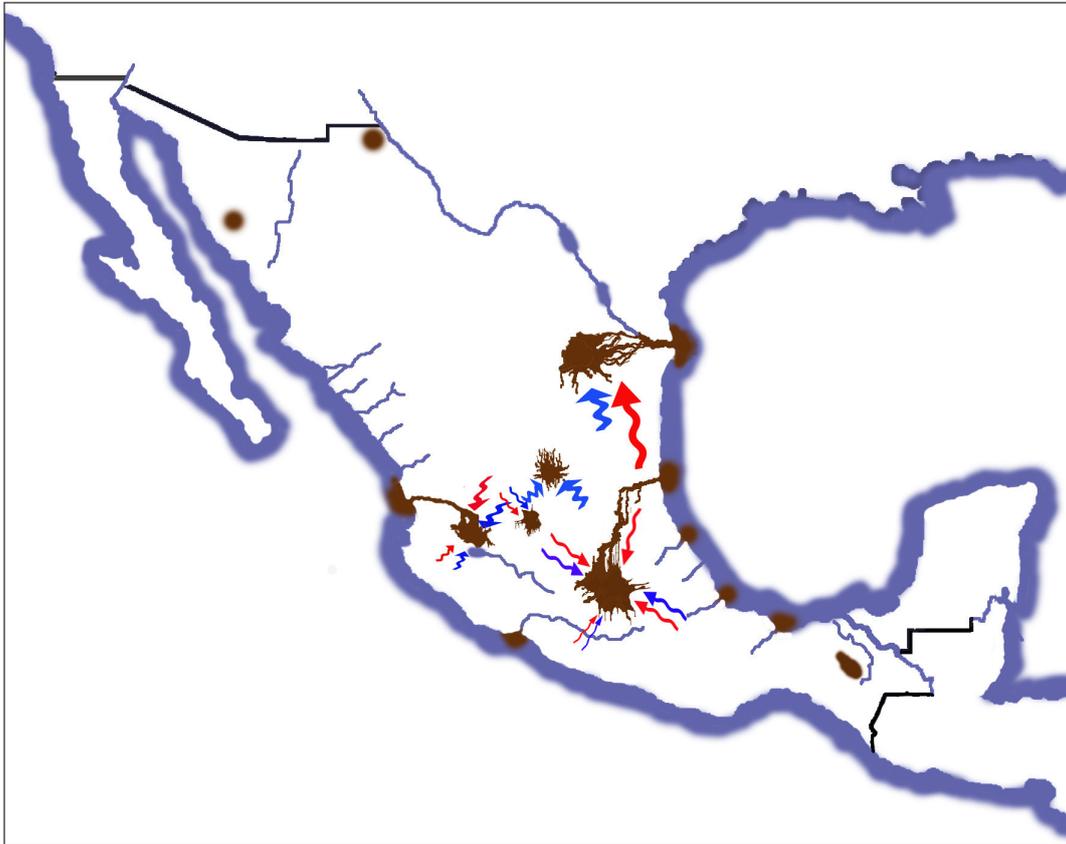
ANEXO.

MEXICO: CIUDADES CUENCA ANALIZADAS



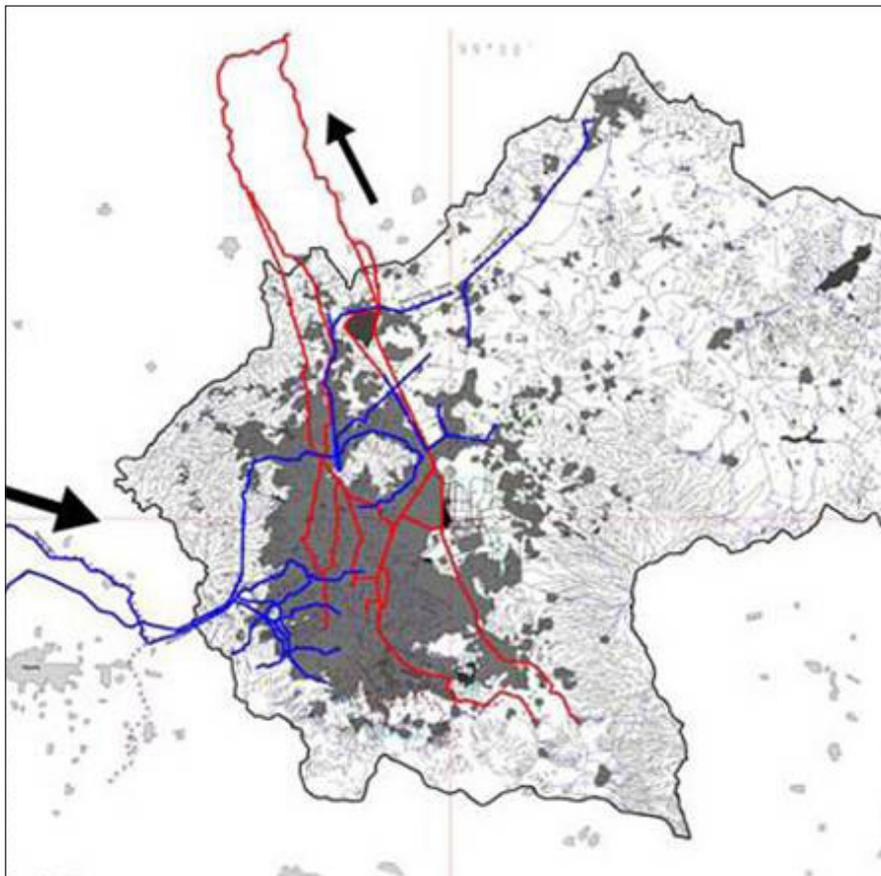
Fuente: Elaboración del autor con base en mapa de ríos nacionales de Conagua.

MEXICO: DIBUJO DE CIUDADES CUENCA



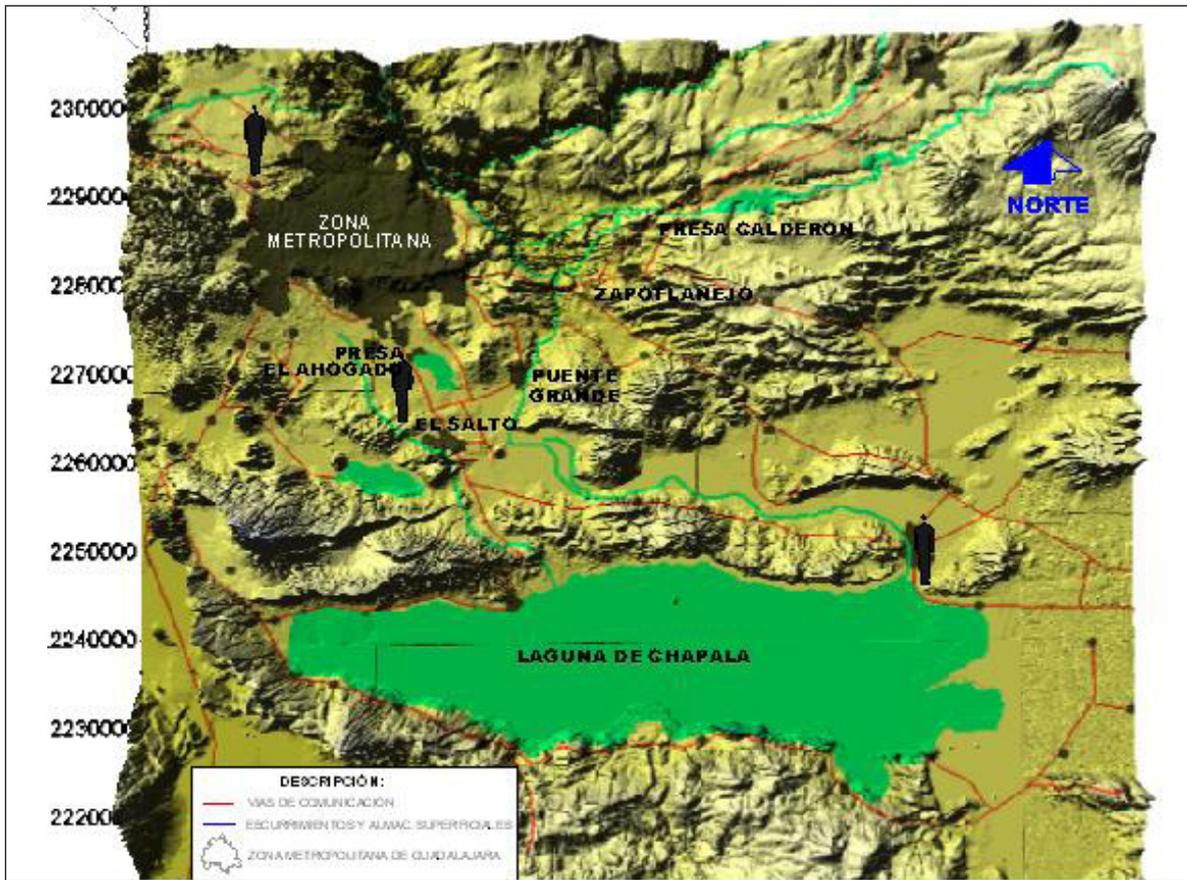
Fuente: elaborado por el arquitecto Juan Luis Rodríguez Parga de la FES Acatlán, UNAM, a petición del autor.

CIUDAD DE MEXICO. SISTEMA HIDRAULICO



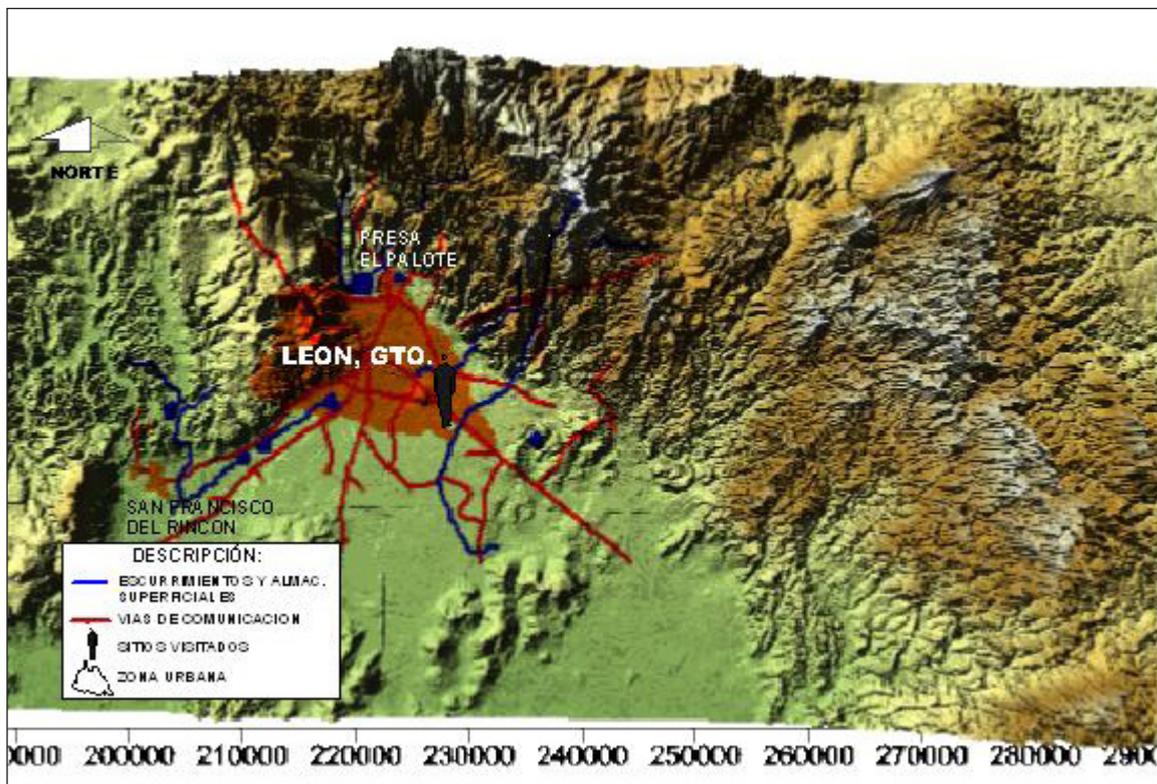
Fuente: Conagua, 2000, CAVM.

GUADALAJARA, JALISCO



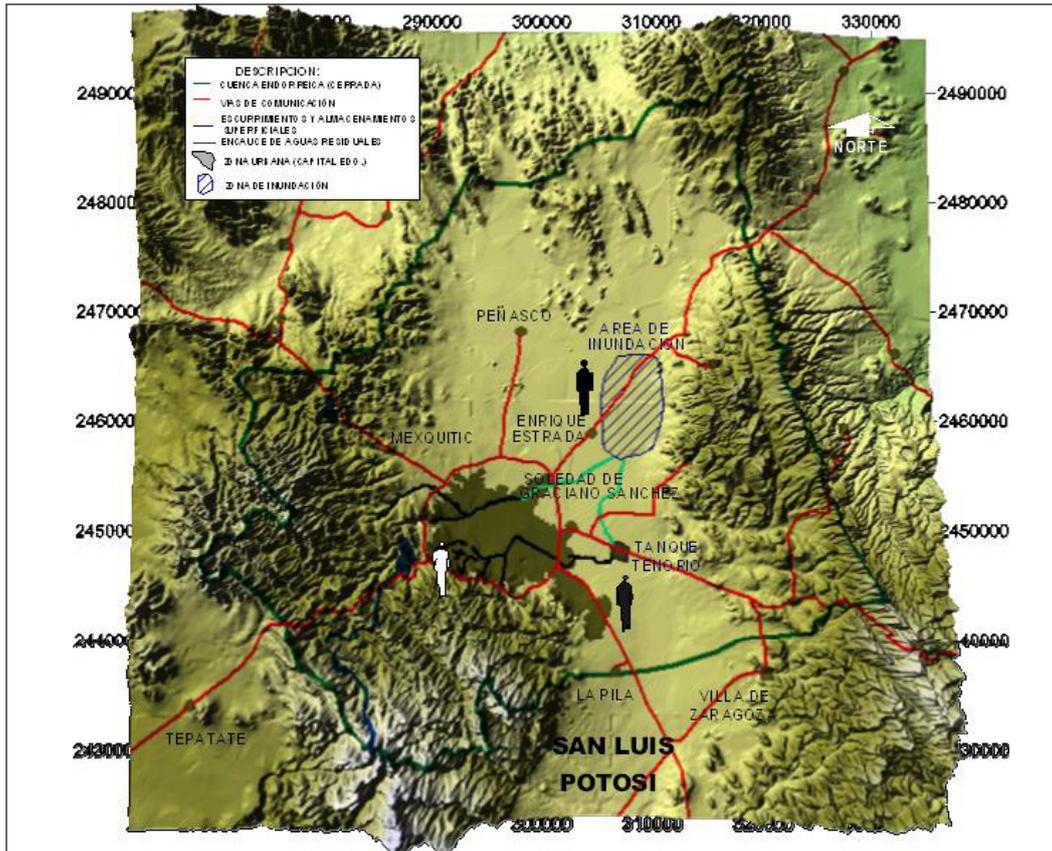
Fuente; elaborado por la Ingeniera Juana Martínez de la Universidad de San Luis Potosí, 2008

LEON, GUANAJUATO



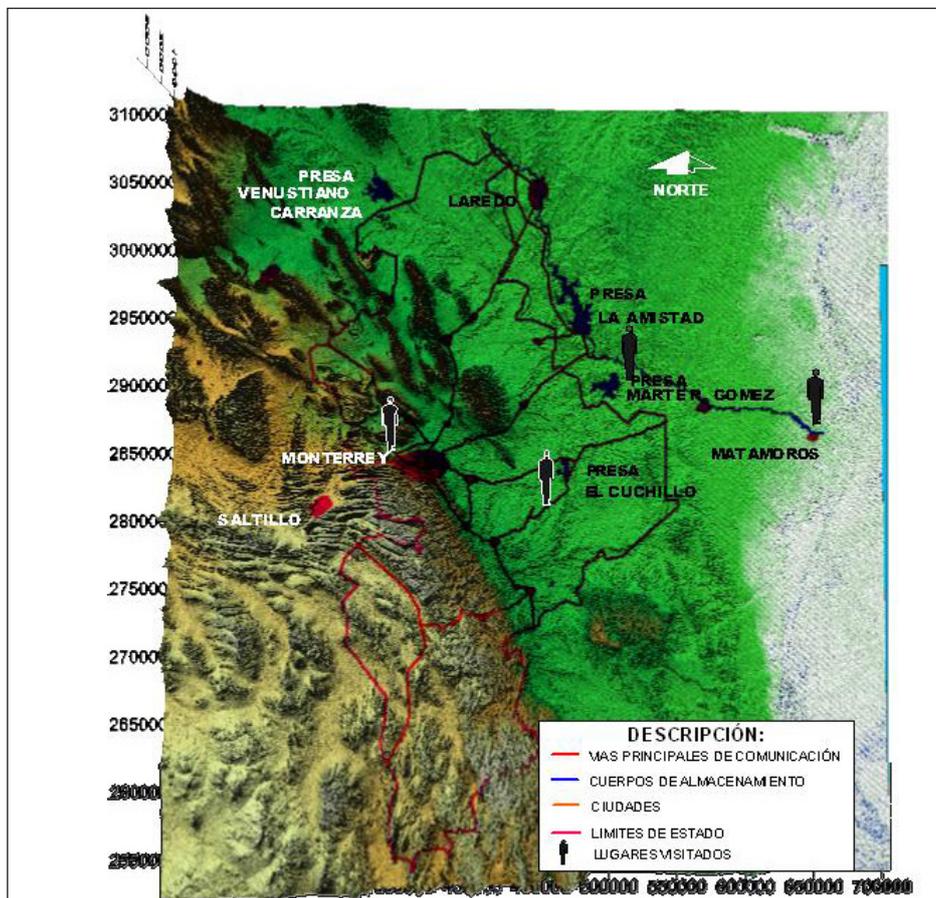
Fuente: elaborado por la Ingeniera Juana Martínez, de la Universidad de San Luis Potosí, 2009.

SAN LUIS POTOSI, SAN LUIS POTOSI

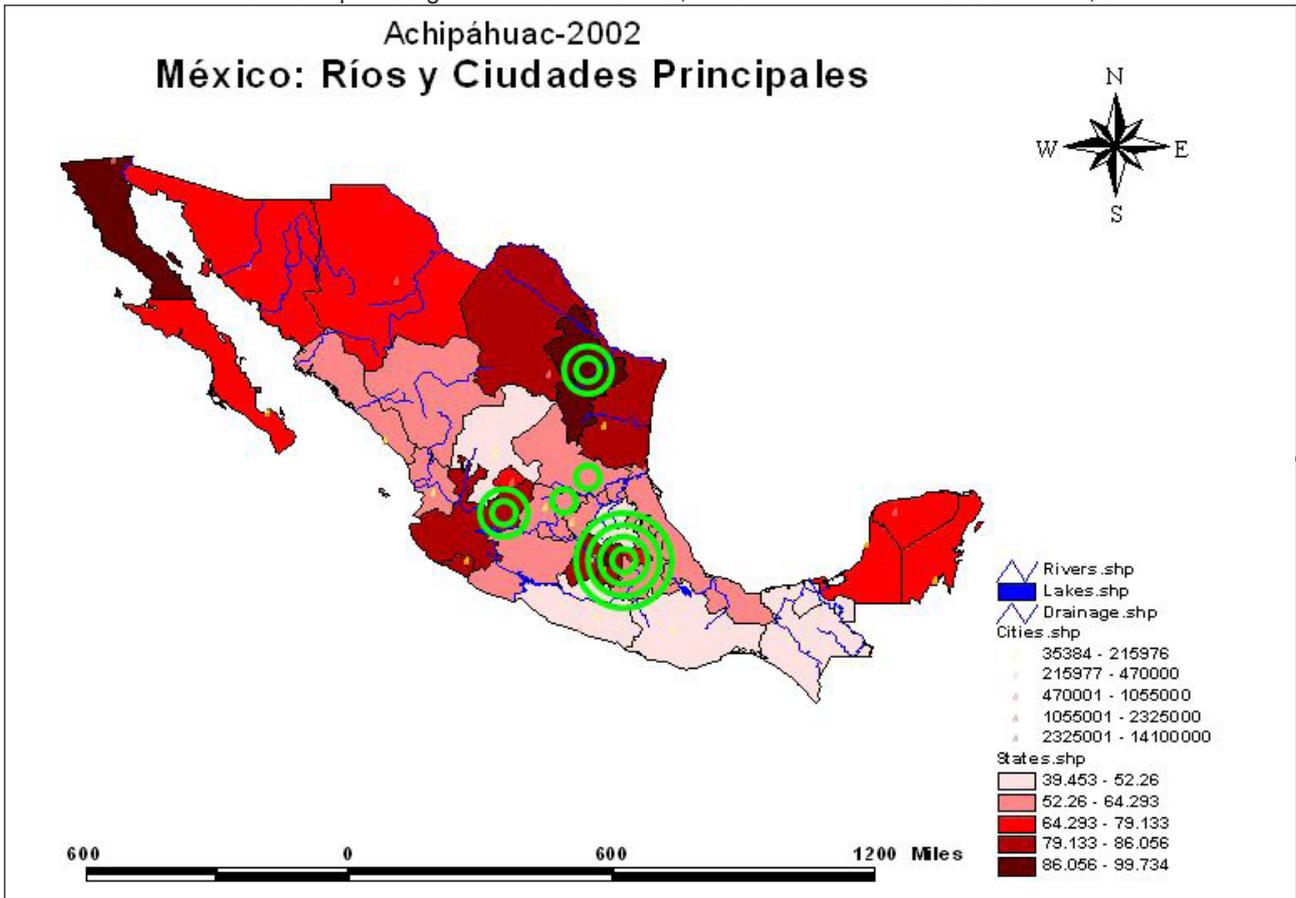


Fuente: elaborado por Juana Martínez de la Universidad de San Luis Potosí, 2009.

MONTERREY, NUEVO LEON



Fuente: elaborado por la Ingeniera Juana Martínez, de la Universidad de San Luis Potosí, 2009.



INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

La revista Aqua-LAC es una publicación multidisciplinar que contiene artículos, notas técnicas y reseñas en el campo de los recursos hídricos, tanto en su dimensión científica como en su dimensión económica y social.

Las contribuciones deben ser el resultado de una investigación original adecuadamente diseñada y que contenga un **título, resumen, palabras clave, introducción, metodología, resultados y discusión, conclusiones o consideraciones finales, agradecimientos (opcional) y referencias bibliográficas**. Los artículos presentados deben ser originales en idioma español o inglés y escritos a espacio sencillo, con letra Arial tamaño 10 y márgenes de 2 cm. y de una extensión de entre 8-15 páginas, contando inclusive aquellas con tablas y figuras.

Formato

Primera página: Incluirá el título en español e inglés, que debe ser conciso y reflejar el contenido del trabajo, los nombres de los autores, así como su afiliación (nombre de la institución a la que pertenece y correo electrónico). Siempre que aparezcan nombres científicos en el título, estos deberán ser escritos de acuerdo a los registrados en **ITIS** (Sistema de Información Taxonómico Integrado, <http://www.itis.usda.gov/>) siempre y cuando se encuentren disponibles.

Resumen: Los trabajos deben incluir un resumen representativo del artículo, en el idioma original del texto y en el otro idioma oficial de la revista. Se requiere además de 3-6 palabras clave en ambos idiomas separadas por comas que permitirán ubicar el trabajo en las bases internacionales de datos que incluirán a la revista.

Texto

Tendrá que ser consistente con el tipo de publicación, siguiendo la estructura estándar presentada en la matriz disponible en el sitio web de Aqua-LAC.

Referencias

Las referencias que aparecen en el texto deben estar presentes en la sección Referencias Bibliográficas en orden alfabético y cronológico. Solo los trabajos citados en el texto deberán aparecer en la sección de Referencias Bibliográficas y viceversa.

Figuras y Tablas

Se prefieren figuras, dibujos y fotografías electrónicas en formato GPS o TIFF, de 300 DPI (color) y 1200 DPI (blanco y negro).

Las figuras, ilustraciones y fotografías digitales deben ser enviadas en forma separada, debidamente identificadas conteniendo un número que deberá ser consistente con su aparición en el manuscrito y con una breve descripción.

Las tablas deben ser enviadas por separado, enumeradas y con un título, que aparecerá en la parte superior de la misma. Deberán estar citadas en el texto en un orden ascendente de numeración a medida que son descritas, preferiblemente no debiendo exceder un máximo del 50% del tamaño de la página. NOTA: Las tablas deben utilizar el Sistema Internacional de unidades

Remisión de Trabajos

Los autores deberán enviar sus trabajos en solamente en formato electrónico a aqualac@unesco.org.uy.

Derechos de autor

Los autores de manuscritos aceptados para publicación en la revista de forma automática dan su consentimiento para que los derechos de autor sean transferidos a la Revista.

NOTA: Descargue las instrucciones en versión extendida en www.unesco.org/phi/aqualac

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

The Aqua-LAC journal is a multidisciplinary publication that will contain articles, technical notes and water resources reviews, as much in a scientific as in an economic and social dimension.

The articles must be the result of an original research, dully designed and containing **title, abstract, key words, introduction, materials and methods, results, conclusions, acknowledgments (optional), and bibliographic references**. The manuscripts presented will be originals in Spanish or English, on subjects related to the areas of the journal. Will be written with Arial font size 10 pt, with single spacing, 2 cm margins, and with a length between 8 and 15 pages including tables and illustrations.

Format

First page: will include the title in Spanish and English, that should be concise reflecting the content of the document, the authors names and their affiliation (name to their belonging institution, telephone, fax and e-mail). If scientific names appear in the title, this should be written according with those in ITIS (Integrated Taxonomic Information System, <http://www.itis.usda.gov/>) if they are available.

Abstract: the articles must include a representative abstract, in the language of the paper and in the other official language of the journal. Also, 3-6 key words in both languages will be requested, separated by commas to allow finding the manuscript in the international databases including the journal.

Text

Shall be consistent with the type of journal, following the standard format presented in the template provided in the Aqua-LAC web-page.

References

References that appear in the text should be presented in the Bibliographic References section in alphabetical and chronological order. Only works cited in the text should appear in the References section and viceversa.

Tables and Figures

Figures, drawings and digital photos are preferable in GPS or TIFF, 300 DPI (colour) and 1200 DPI (black and white).

The figures, illustrations and digital photos should be sent separately, properly identified with a number that should be consistent with the way they are mentioned in the manuscript and a short description.

The tables should be sent separately, numbered and with a title that will be shown on its upper part. In the text the tables should be cited with a rising numeration order according to its description, preferably not exceeding a maximum of 50% of the size of the page.

NOTE: The tables should use the International Units System.

Submission of manuscript

Manuscripts must be submitted only in electronic format to aqualac@unesco.org.uy.

Copyrights

The authors of accepted papers automatically agree for the author's rights to be transferred to the Journal.

NOTE: Download the extended instructions from www.unesco.org/phi/aqualac

