



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

ISSN 1688-2873

1

VOL. 12
MARZO 2020

*Revista del Programa Hidrológico
Intergubernamental para América Latina y el Caribe*

*Journal of the Intergovernmental Hydrological
Programme for Latin America and Caribbean*



Publicado en el 2020 por el Programa Hidrológico Intergubernamental (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 2020 by the Intergovernmental Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

ISSN 1688-2881

© UNESCO marzo 2020

Fotografía de portada: © Eduardo Planos

Lugar: Paseo Santa Lucía, Monterrey, Nuevo León, México.

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”.

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”.

Programa Hidrológico Intergubernamental
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
aqualac@unesco.org

Centro de Investigaciones del Agua
Campus Universitario Cerro de las Campanas
Facultad de Ingeniería, UAQ
76010 Querétaro, México
aqualac@uaq.mx

CONSEJO DIRECTIVO / BOARD OF DIRECTORS

MARÍA CONCEPCIÓN DONOSO

Institute of Water and the Environment, INWE
Florida International University, USA

BLANCA JIMÉNEZ

Comisión Nacional del Agua, Conagua, México

EDUARDO PLANOS

Instituto de Meteorología, INSMET, Cuba

EVENS EMMANUEL

Université Quisqueya, Haití

JUAN CARLOS BERTONI

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

LUCILA CANDELA

Universidad de Cataluña-UPC, Barcelona, España

VIRGINIA GARCÍA ACOSTA

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), México

ROBERTO PIZZARO

Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental, CTHA
Universidad de Talca, Chile

WILL LOGAN

Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ICIWarm), USA

MIGUEL DORIA

Programa Hidrológico Internacional, Hidrólogo Regional para América Latina y el Caribe de la UNESCO

CONSEJO EDITORIAL

Marilia Carvalho de Melo

Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IGAM, Brasil

Waldo Lavado-Casimiro

Facultad de Meteorología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Henrique Marinho Leite Chaves

Faculdade de Tecnologia-EFL pós-graduação e Universidade de Brasília, Brasil

Manuel Fernando Luna Lemus

Escuela de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, Guatemala

Ninell Janett Dedios Mimbela

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, Perú

Poliopro Fortunato Martínez Austria

Universidad de las Américas Puebla Escuela de Ingeniería, México

Lilian del Castillo Laborde

Facultad de Derecho de la Universidad de Buenos Aires, Argentina

Mauro Nalesso

Water & Sanitation Division Inter-American Development Bank, USA

Evens Emmanuel

Université Quisqueya, Haiti

Marta del Carmen Paris

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Argentina

Pablo A. Garcia-Chevesich

University of Arizona, USA

Jorge Víctor Pilar

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Chaco, Argentina

Fernanda Julia Gaspari

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Diego Alejandro Pérez Giraldo

Universidad Libre de Colombia

Hugo G. Hidalgo

Centro de Investigaciones Geofísicas. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Mauricio Pinto

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Lili Ilieva

Senior Analyst, ECo Ltd.

Denilson Teixeira

Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Brasil

STAFF EDITORIAL / EDITORIAL STAFF

M. Alfonso Gutiérrez López

Editor en Jefe / *Editor in Chief*
Facultad de Ingeniería, UAQ, México

Miguel Doria

Editor Ejecutivo / *Executive Editor*
Editor Asociado Inglés

José Leopoldo Vargas Baecheler

Editor Asociado Español
Universidad de Concepción, Chile

Henrique Marinho Leite Chaves

Editor Asociado Portugués
Universidad de Brasilia, Brasil

Evens Emmanuel

Editor Asociado Francés
Université Quisqueya, Haití

José Alejandro Vargas Díaz

Responsable de herramienta OJS

Luis Avilés Ríos

Responsable de Indexación

Sabrina Cupeiro

Asistente de Edición

Ivonne Monserrat Cruz Paz

Asistente de Indexación

Marcela Salas Salazar

Asistente de herramienta OJS

Jacqueline Gómez Martínez

Asistente de Arbitraje

EDITORIAL

Con gran satisfacción inicio las páginas de la revista que reúne un selecto número de artículos, en torno a temas que podrían parecer tan diversos como lo son los subsectores del agua, que sin embargo preservan un común denominador: el desarrollo sostenible, sólo alcanzable si se parte de la seguridad hídrica, la seguridad alimentaria y la seguridad energética. Se afirma, con toda razón, que el agua es el pivote central, en una suerte de Aleph -para referirlo en términos de gran Borges-, como el punto en el que convergen todos los demás puntos, y es que el agua es esencial para la salud y la alimentación, para el desarrollo socio-productivo y para la preservación de los ecosistemas; es, además, patrimonio de la humanidad, y estas principales características configuran las dimensiones del Valor del Agua.

Por ello, en este número se discute el tránsito de una tarifa por superficie a una tarifa volumétrica para el riego, tema no menor cuando el riego es el principal usuario del agua en el mundo y en la región latinoamericana no es la excepción, buscando además una distribución equitativa y justa, como lo refiere otro de los artículos presentados; los fondos del agua, como la referencia en un caso en Brasil, conlleva una orientación que busca igualmente la sostenibilidad en el uso del recurso hídrico.

Hoy se afirma que el agua enfrenta tres grandes desafíos: i) muy poca, ii) en exceso y iii) muy contaminada; la primera se refiere a los continuos eventos de sequía que aquejan de manera más prolongada vastos territorios, y en América Latina basta revisar los casos mexicanos, chilenos y argentinos de los últimos años, en los que la sequía se ha acentuado y con mayor vehemencia en tierras áridas de los países referidos. Del otro lado, las inundaciones se han incrementado, y en nuestra región el aumento ha sido de más del 40% en los últimos quince años, afectando ciudades y territorios rurales productivos, regresando a la pobreza a millones de personas; finalmente, las aguas contaminadas existentes en los cuerpos de agua es un tema conocido pero poco priorizado, conscientes de que más de un 60% de las aguas residuales recolectadas en América Latina no son tratadas, a lo que debe sumarse la contaminación difusa por agroquímicos no controlados y otros contaminantes poco estudiados, como los micro-plásticos que afectan ríos, lagos y mares. En este escenario, conocer la disponibilidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos es vital, que contrasta con la situación de varios países de la región donde existe poco conocimiento de las reservas, disponibilidad o sobreexplotación de los acuíferos, y la prospección geofísica y otros medios indirectos, como los referidos en uno de los artículos, son de gran ayuda y están siendo progresivamente perfeccionados. Igualmente, avanzar en caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de regiones hidrológicas homogéneas, es otra asignatura pendiente, cuyo avance coadyuvará al conocimiento de un recurso finito, vulnerable, y que posee altas implicancias sociales, económicas y, sin duda, también políticas.

Dr. Franz Rojas-Ortuste

Especialista internacional en
gestión y políticas del agua

CONTENIDO / CONTENTS

| | |
|---|-------------------------------|
| Sostenibilidad financiera, física y ambiental del servicio tarifario de riego en la República Dominicana <i>Financial, physical and environmental sustainability of the tariff irrigation service in the Dominican Republic</i> | 1 |
| Juan Chalas, Juan L. Ramírez, Gerardo Méndez, Luis Bello. | [Artículo de investigación] |
| Financing water and sanitation services: two types of funds for facing investment challenges in Brazil <i>La financiación de los servicios de agua y saneamiento: dos tipos de fondos para hacer frente a los desafíos de la inversión en el Brasil</i> | 22 |
| Vitor Carvalho Queiroz, Nilo De Oliveira Nascimento, Matheus Valle de Carvalho e Oliveira. | [Artículo de investigación] |
| Evaluación técnica y económica de la función de los bosques y los pilotes de madera en la reducción del riesgo aluvional en la microcuenca peri-urbana abastecedora de agua potable del Estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Aysén, Chile <i>Technical and economic evaluation of the role of forests and wooden piles in reducing alluvial risk in the peri-urban micro-basin supplying drinking water to Estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Aysén, Chile</i> | 32 |
| Wilfredo Alfaro, Constanza D'Apollonio, José Bobadilla, César León, Juan Cisternas, Felipe Davison, Marco Cayuk, Francisco Navarro. | [Reseña de campo] |
| Integrating equality in evaluation of water access for irrigation in an Andean community <i>Integrando un enfoque de igualdad en la evaluación de acceso al agua para riego en una comunidad andina</i> | 42 |
| Lina G. Terrazas V., Laura Forni, Marisa Escobar A. | [Artículo de investigación] |
| Actualidad de las técnicas de renovación de los sistemas de drenaje <i>Current Renewal Techniques of Drainage Systems</i> | 59 |
| Manuel M. Cabrera Delgadillo, Guadalupe Sánchez Campos, Juan Carlos Mejía Suárez, Carmen Hernández Pastor. | [Nota técnica] |
| Prospección Geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica del acuífero transfronterizo Ocatepeque-Citalá (ATOC), Región Trifinio, El Salvador-Honduras <i>Geophysical prospecting as a tool for the hydrogeological characterization of the Ocatepeque-Citalá transboundary aquifer (ATOC), Trifinio Region, El Salvador-Honduras</i> | 70 |
| César Armando Alvarado Batres, Luis Adrián Mayén Flamenco, Luis Alfonso Castillo Ramos. | [Nota técnica] |

| | |
|--|-------------------------------|
| Las seis reglas de la regionalización en hidrología <i>The six rules of regionalization in hydrology</i> | 81 |
| Alfonso Gutiérrez-López, Javier Aparicio. | [Nota técnica] |
| Evaluación de la Sostenibilidad del Proceso de Descentralización del Servicio del Riego en la República Dominicana <i>Sustainability Assessment of the Decentralization Process of the Irrigation Service in the Dominican Republic</i> | 90 |
| Juan Chalas, Joanna Montilla, Gerardo Méndez, Luis Bello, Agustín García, Garby Rodríguez. | [Artículo de investigación] |
| Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana <i>Historical review of rainfall-caused shallow landslide, cases: Mexico and Dominican Republic</i> | 108 |
| Pablo Castillo Pérez, Lizeth Vergara Fariás, Juan Chalas, Felipe Vicioso. | [Artículo de investigación] |
| Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina e Introducción al programa GGMN <i>Current Status of Groundwater Monitoring in Latin America and Introduction to the GGMN Program</i> | 118 |
| Claudia Ruz Vargas, Lucía Samaniego, Miguel Rangel Medina. | [Artículo de investigación] |



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Sostenibilidad financiera, física y ambiental del servicio tarifario de riego en la República Dominicana

Financial, physical and environmental sustainability of the tariff irrigation service in the Dominican Republic

Juan Chalas^{1*}, Juan L. Ramírez¹, Gerardo Méndez¹, Luis Bello¹

Recibido: 12/09/2019

Aceptado: 08/04/2020

*Autor de correspondencia



Resumen

Este estudio fue realizado en la República Dominicana abarcó 13 Juntas de Regantes que administran 20 sistemas de riego con una superficie de 2,273,800 ha y 39,675 usuarios, se tomaron en cuenta tres periodos agrícolas (2007-2008, 2008-2009 y 2009-2010); con la finalidad de traducir la tarifa por superficie a una tarifa volumétrica: también se analizó el costo ambiental de la sobre aplicación de agua de riego en las áreas agrícolas, sugerencias de estrategias para el ahorro y uso eficiente del recurso agua en las áreas bajo riego basada en instrumentos económicos y financieros, sugerencias sobre la implementación de un sistema tarifario efectivo basado en las condiciones locales que contribuyan a la sustentabilidad financiera, física y ambiental de estos sistemas. Se parte de la premisa que la tarifa de riego es un instrumento económico esencial para la gestión de los recursos hídricos, su correcta aplicación permite cubrir los costos de operación y mantenimiento (O&M) de los sistemas de riego. El deterioro que presentaron los sistemas de riego permite señalar que la tarifa por superficie no asegura los costos de O&M; por lo que se requiere implementar un sistema tarifario en función al volumen de agua derivado, en consecuencia, se muestra el promedio del costo volumétrico del agua para los sistemas estudiados considerando frutos menores y arroz, así como, el valor económico del agua no recuperable.

Palabras clave: Juntas de Regantes, periodos agrícolas, tarifa-costo, demanda de riego, eficiencia de riego, valor económico del agua, sistema tarifario, ambiente.

Abstract

This study was carried out in the Dominican Republic and included 13 Irrigation Boards that administer 20 irrigation systems with an area of 2,273,800 ha and 39,675 users. Three agricultural periods (2007-2008, 2008-2009 and 2009-2010) were taken into account; in order to translate the surface rate into a volumetric rate: the environmental cost of the over-application of irrigation water in agricultural areas was also analyzed, as well as suggestions for strategies for saving and efficient use of the water resource in areas under irrigation based on economic and financial instruments, suggestions on the implementation of an effective rate system based on local conditions that contribute to the financial, physical and environmental sustainability of these systems. It starts from the premise that the irrigation rate is an essential economic instrument for the management of water resources; its correct application allows covering the O&M costs of irrigation systems. The deterioration presented by the irrigation systems makes it possible to point out that the surface fee does not ensure O&M costs; therefore, it is required to implement a rate system based on the volume of water derived, therefore, the average volumetric cost of water for the studied systems is shown considering minor fruits and rice, as well as the economic value of non-recoverable water.

Keywords: Irrigation Boards, agricultural periods, tariff-cost, irrigation demand, irrigation efficiency, economic value of water, tariff system, environment.

1 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA). jrchalas@gmail.com, juanduval@hotmail.com, riego.montegrando@gmail.com, dominican38@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El sistema tradicional de tarifa por superficie que se aplica en la República Dominicana, se caracteriza por precios muy bajos, dando la impresión de que los usuarios pueden usar la cantidad de agua que deseen. Esta falta de apreciación real del valor económico de este recurso contribuye a la creación de una cultura de malas prácticas y baja eficiencia en el uso del agua para riego. Esto genera una mala conservación del recurso agua y un impacto negativo sobre el medio ambiente. Además de un retraso tecnológico de los sistemas de riego en el país, debido a la baja recaudación por concepto del cobro de la tarifa de riego por superficie; perjudicando la actividad productiva de los regantes y pone en riesgo la sostenibilidad del servicio de riego.

La tarifa por superficie que se aplica actualmente en las áreas de influencia de los sistemas de riego del país no permite la recuperación de los costos de O&M y tampoco contribuye a la conservación de recurso agua, lo que pone en riesgo la sostenibilidad financiera, física y ambiental del servicio de riego en la República Dominicana. Debido a esto se requieren estudios de base para el cálculo, diseño y aplicación de un nuevo sistema tarifario para el sector riego en el país.

La situación antes descrita plantea una situación que justifica el estudio realizado. Las Juntas de Regantes seleccionadas para la realización de este estudio fueron 13, las cuales administran y operan por delegación de responsabilidades y funciones del INDRHI hacia ellas 20 sistemas de riego que benefician a 39,675 usuarios en una superficie de 2,273,800 tas.

Estas organizaciones de usuarios / sistemas de riego se ubican en las regiones Central, Noroeste, Suroeste y Sureste del país. En cuanto a la ubicación en los Distritos de Riego, se localizan en el Alto Yaque del Norte, Bajo Yaque del Norte, Valle de Azua, Yuna – Camú, Valle de San Juan y Yaque del Sur, (INDRHI, 2006).

Para lograr los objetivos y resultados obtenidos de este estudio se tomaron en cuenta tres períodos agrícolas: (2007-2008, 2008-2009 y 2009-2010) para los 20 sistemas de riego. Fue necesario recolectar y procesar informaciones climáticas, hidrométricas, agrícolas, cultivos, tarifa de riego, presupuesto programado de los sistemas de riego, inversión del INDRHI en los sistemas de riego, ingresos de las Juntas de Regantes, características físicas de sistemas de riego, y características de las Juntas de Regantes.

Parte de los datos compilados a nivel de gabinete tuvieron que ser comprobados a nivel de campo,

mediante visitas al personal técnico del INDRHI y de las Juntas de Regantes.

Los objetivos generales y específicos que abarca este estudio son:

1. Determinar la relación tarifa-costo por unidad de volumen en las áreas bajo riego seleccionadas, para analizar la sostenibilidad financiera, física y ambiental de los sistemas. 1.1. Traducir la tarifa por superficie a una tarifa volumétrica en función del volumen de agua requerido de los cultivos. 1.2. Calcular los costos de O&M de los sistemas de riego seleccionados por unidad de volumen.
2. Determinar la eficiencia de riego de los sistemas y analizar el impacto económico-ambiental de la situación actual y el uso de medidas para el ahorro de agua. 2.1.- Determinar los volúmenes de agua suministrados y la demanda de agua de riego. 2.2. Calcular el valor económico de los volúmenes de agua recuperable, desde el punto de vista de la operación, administración y conservación de los sistemas de riego seleccionados y el costo ambiental de la sobre aplicación de agua de riego en las áreas agrícolas.
3. Sugerencias de estrategias para el ahorro y uso eficiente del recurso agua en las áreas bajo riego de la República Dominicana, basada en instrumentos económicos y financieros.
4. Sugerencias sobre la implementación de un sistema tarifario efectivo basado en las condiciones locales, que contribuya a la sustentabilidad financiera, física y ambiental de los sistemas de riego en la República Dominicana.

2. METODOLOGÍA

2.1 Identificación y selección del área de estudio

Para la identificación y selección de las 13 organizaciones de usuarios que administran los 20 sistemas de riego se consideró: la ubicación regional, número de usuarios, área de influencia, fecha de fundación, tipo de sistema de riego (tierra o revestido), método de riego (melga, caro o surco) y la información disponible y confiable (agrícola, climática e hidrométrica, entre otras). En cuanto a porcentajes, el área seleccionada correspondió al 56 % del total y el número de usuarios al 51 %.

La figura 1 muestra la ubicación de las Juntas de Regantes Seleccionadas, la tabla 1 el área considerada en este estudio, y la tabla 2 presenta los valores de las tarifas de riego actuales en los mismos.

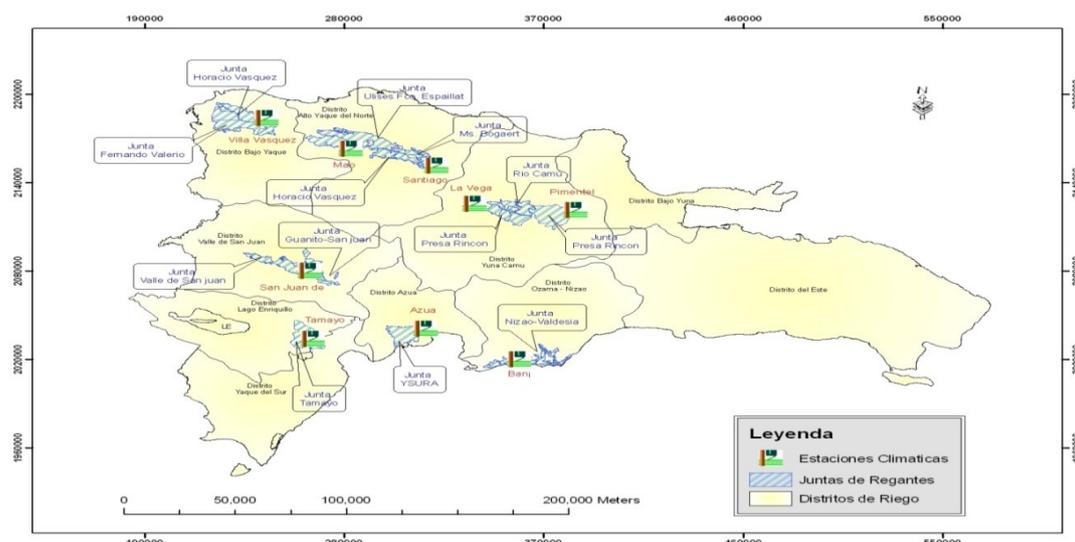


Figura 1. Mapa ubicación Juntas de Regantes y estaciones climáticas del estudio
Fuente: Departamento Organización y Capacitación del INDRHI y Juntas de Regantes

Tabla 1. Juntas de Regantes y sistemas de riego objeto de estudio

| Distrito de Riego | Junta de Regantes | Sistema de riego | Área (ha) | Número de usuarios |
|----------------------|----------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Ozama - Nizao | NizaoVldesia | Marcos A Cabral | 156,272 | 2,747 |
| | | Nizao - Najayo | 30,040 | 952 |
| Valle de Azua | YSURA | YSURA | 181,408 | 5,998 |
| Alto Yaque del Norte | Ulises Fco. Espailat (UFE) | UFE | 393,024 | 5,783 |
| Alto Yaque del Norte | Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 137,344 | 1,753 |
| Alto Yaque del Norte | Mao | Mao | 172,416 | 1,692 |
| Bajo Yaque del Norte | Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 164,144 | 1,853 |
| Bajo Yaque del Norte | General Fdo. Valerio | Fernando Valerio | 307,696 | 3,170 |
| | | La Antona | 54,896 | 293 |
| | | Chacuey | 18,896 | 478 |
| | | | | |
| Yuna - Camú | Río Camú | Camú | 124,208 | 1,547 |
| Yuna - Camú | Presa de Rincón | Jima Margen Izquierda | 42,352 | 390 |
| | | Jima Margen Derecha | 67,488 | 1,192 |
| | | Jima Camú | 63,376 | 758 |
| Yuna - Camú | Presa de Hatillo | Yuna | 228,928 | 2,943 |
| Valled de San Juan | Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 165,632 | 3,039 |
| | | Hato del Padre | 33,280 | 784 |
| | | San Juan - Jinova | 51,472 | 1,769 |
| | | Guanito - San Juan | 15,900 | 842 |
| Yaque del Sur | Tamayo | Santana | 172,416 | 1,692 |
| Total | | | 2,273,800 | 39,675 |

Fuente: Elaboración propia a partir de informaciones de los Departamentos de Organización, Capacitación, Operación y Mantenimiento del INDRHI, y de las Juntas de Regantes.

Tabla 2. Tarifa de riego por superficie (RD\$/ta/año).

| Junta de Regantes | Sistema de riego | 2007-2008 | | 2008-2009 | | 2009-2010 | | Promedio | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| | | A | FM | A | FM | A | FM | A | FM |
| Tamayo | Santana | | 30.00 | | 38.38 | | 36.00 | | 34.79 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio | 68.00 | 38.00 | 90.00 | 50.00 | 90.00 | 50.00 | 82.67 | 46.00 |
| | La Antona | 68.00 | 38.00 | 90.00 | 50.00 | 90.00 | 50.00 | 82.67 | 46.00 |
| | Chacuey | | 38.00 | | 50.00 | | 50.00 | 0.00 | 46.00 |
| Guanito - San Juan | Guanito - San Juan | 43.00 | 43.00 | 43.00 | 43.00 | 86.00 | 43.00 | 57.33 | 43.00 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 100.00 | 75.00 | 110.00 | 85.00 | 110.00 | 85.00 | 106.67 | 81.67 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral | 108.00 | 54.00 | 126.00 | 63.00 | 126.00 | 63.00 | 120.00 | 60.00 |
| | NizaoNajayo | 108.00 | 54.00 | 126.00 | 63.00 | 126.00 | 63.00 | 120.00 | 60.00 |
| Río Camú | Camú | 70.00 | | 85.00 | | 85.00 | | 80.00 | |
| Mao | Mao - Gurabo | 90.00 | 45.00 | 100.00 | 50.00 | 110.00 | 55.00 | 100.00 | 50.00 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 94.00 | 47.00 | 104.00 | 52.00 | 104.00 | 52.00 | 100.67 | 50.33 |
| YSURA | YSURA | 48.93 | 48.93 | 48.93 | 48.93 | 48.93 | 48.93 | 48.93 | 48.93 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 68.00 | 34.00 | 100.00 | 50.00 | 100.00 | 50.00 | 89.33 | 44.67 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 68.00 | | 80.00 | | 80.00 | | 76.00 | |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha | 60.00 | | 70.00 | | 70.00 | | 66.67 | |
| | Jima Margen Izquierda | 60.00 | | 70.00 | | 70.00 | | 66.67 | |
| | Jima - Camú | 60.00 | | 70.00 | | 70.00 | | 66.67 | |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 72.00 | 36.00 | 72.00 | 42.00 | 84.00 | 42.00 | 76.00 | 40.00 |
| | Hato del Padre | 72.00 | 36.00 | 72.00 | 42.00 | 84.00 | 42.00 | 76.00 | 40.00 |
| | San Juan - Jinova | 72.00 | 36.00 | 72.00 | 42.00 | 84.00 | 42.00 | 76.00 | 40.00 |

Fuente: Departamento Organización y Capacitación del INDRHI y Juntas de Regantes.

Conversión de la tarifa por superficie a tarifa volumétrica en función del volumen de agua requerido y la demanda de riego de los cultivos. Las

expresiones matemáticas (1) y (2) usadas para realizar estas conversiones de tarifa por superficie a tarifa volumétrica fueron las siguientes.

$$\text{TARIFA VOLUMETRICA}(\text{m}^3/\text{Ta}) = \frac{\text{Requerimiento de Riego promedio (3 años) por sistema de riego}(\text{m}^3)}{\text{Area total acumulada promedio (3 años) por sistema de riego}(\text{ta})} \quad (1)$$

$$\text{CONVERSION TARIFA} = \frac{\text{Tarifa (RD\$/ta/año) por superficie promedio (3 años) por sistema de riego}}{\text{Tarifa volumétrica (m3/ta)}} \quad (2)$$

La determinación de los volúmenes de agua suministrados o derivados a los sistemas de riego para el riego de las parcelas se sustentó en los registros de caudales diarios que se realizan en dichos sistemas, los cuales fueron promediados y

convertidos a volumen. Las demandas o requerimientos de riego volumétrico promedio y las eficiencias de riego, se calcularon mediante las siguientes expresiones aritméticas (3) y (4):

$$\text{DEMANDA DE RIEGO} = \int_{1-20 \text{ sist. riego, 1}^{\text{a}} \text{ cultivos}}^{\text{promedio 3 año}} ((E_{to} \times K_c) - P_e) / 1000 \times \text{DCV} \times \text{Area} \quad (3)$$

donde

| | |
|----------|---|
| E_{to} | Evapotranspiración de referencia (mm/día) |
| K_c | Coefficiente de cultivo (adimensional) |
| P_e | Precipitación efectiva (mm/día) |
| DCV | Duración ciclo vegetativo de cultivo (días) |
| Área | Área (m ²) |

$$\text{EFICIENCIA DE RIEGO}(\%) = \frac{\text{Demanda de Riego Volumetrica}}{\text{Q derivado medio anual} \times 365 \times 31 \text{ ó } 30 \times 24 \times 3600} \times 100 \quad (4)$$

Es importante destacar que en el caso del cultivo de arroz se consideró una sobre lámina para simular agua sobre el terreno durante el ciclo del cultivo como es costumbre en la agricultura dominicana.

Por otro lado, el criterio usado que permitió trazar el procedimiento para cumplir los objetivos relativos al costo por unidad de volumen del agua de riego, se fundamentó en que los costos totales de obtención del agua superficial para riego, en el caso de recursos hidráulicos en funcionamiento, pueden agruparse en los siguientes aspectos:

- Amortización de la obra hidráulica, distinguiendo la parte correspondiente a la producción de agua de la parte relativa a la producción de energía eléctrica.
- Amortización de los canales de riego para la distribución del agua desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas.
- Mantenimiento de las instalaciones (presas, bombas, motores, canales de riego, etc.)
- Mano de obra (vigilancia y gestión u operación de las instalaciones).

- Administración.
- Energía.
- Varios o imprevistos.

Los aspectos “a” y “b” no fueron tomados en cuenta para el cálculo de la tarifa de riego volumétrica, en cambio los literales “c”, “d”, “e”, “f” y “g” fueron considerados para estas estimaciones. Se entiende que los recursos económicos a invertir para cumplir con las labores citadas en los literales “a y b” deben provenir de asignaciones especiales del Estado Dominicano no cargadas a la tarifa de riego volumétrica de las Juntas de Regantes, ya que, en los convenios de transferencias suscritos entre las organizaciones y el INDRHI no se contempla esta responsabilidad.

Tarifa volumétrica (RD\$/m³) con presupuesto programado promedio de las Juntas de Regantes (% área - presupuesto) / Requerimiento neto cultivos. La ecuación (5) fue usada para realizar estas estimaciones por sistema de riego / Juntas de Regantes y por período (1 – 3):

$$\text{TARIFA VOLUMETRICA} \left(\frac{\text{RD\$}}{\text{m}^3} \right) = \frac{(\text{Presupuesto programado} \times \text{Factor de ponderacion})_{1-3} + (\text{Ingresos JR} \times 0.01^*)_{1-3}}{\text{Requerimiento neto de los cultivos}_{1-3}} \quad (5)$$

2.2 Junta de regantes

Esta fórmula calcula la tarifa volumétrica en base a la inversión programada para la administración, operación y conservación de las Juntas de Regantes en los sistemas de riego, así como la colocación de recursos correspondientes al 1 % de los ingresos para la conservación de las cuencas hidrográficas. Esto se

relaciona al requerimiento neto de los cultivos desarrollados en el área de influencia de los sistemas. Tarifa volumétrica en función de la inversión promedio del INDRHI en los sistemas de riego. La fórmula (6) calcula este parámetro siguiendo el criterio y la fuente de las informaciones del punto anterior:

$$\text{TARIFA VOLUMETRICA(RD\$/m}^3) = \frac{\text{Inversion}_{1-3}}{\text{Requerimiento neto de los cultivos}_{1-3}} \quad (6)$$

2.3 Inversión INDRHI

Tarifa total (RD\$/m³) con presupuesto programado promedio de las Juntas de Regantes (% área - presupuesto) / Requerimiento neto cultivos, más proporción promedio de tarifa inversión del INDRHI. Esta tarifa total resultó de la sumatoria de las tarifas parciales obtenidas mediante las ecuaciones citadas

en los dos acápites anteriores. Costo real y valor económico del agua para el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego. El procedimiento usado para realizar estas estimaciones se fundamentó en los siguientes criterios (7):

$$\text{VOLUMEN DE AGUA PERDIDO} = \text{Volumen de agua bruto} - \text{Volumen de agua neto} \quad (7)$$

El volumen de agua perdido resultó de restar el volumen bruto de agua derivado a cada sistema de riego del volumen neto, que resulta de afectar el bruto por la eficiencia de riego calculada de los sistemas de riego. De acuerdo al Plan Hidrológico Nacional en la página 128, editado y publicado en Agosto del 2012 por el INDRHI, se expresa que “el

volumen de agua que retorna a los sistemas de riego y aprovechamiento a los cursos de agua fue determinado asumiendo un retorno del 20 al 46 % de los volúmenes de riego”. Para este estudio se trabajó con el promedio de 33 %. Por lo que el volumen reusado sería el 33 % del volumen perdido (8):

$$\text{VOLUMEN DE AGUA REUSADO} = \text{Volumen de agua perdido} \times 0.33 \quad (8)$$

Por lo anterior explicado se puede estimar el volumen de agua no recuperable de la siguiente manera (9):

$$\text{VOLUMEN DE AGUA NO RECUPERABLE} = \text{Volumen de agua perdido} - \text{Volumen de agua reusado} \quad (9)$$

El costo real económico de agua, desde la concepción de la administración, operación y conservación de los sistemas de riego resulta del volumen que no se

recupera por el costo de la tarifa volumétrica de riego. La expresión matemática es la siguiente (10):

$$\text{COSTO ECONOMICO DEL AGUA PARA EL MANTENIMIENTO, OPERACION Y ADMINISTRACION DE LOS SISTEMAS DE RIEGO} = \text{Volumen de agua no recuperable} \times \text{Tarifa volumetrica} \quad (10)$$

Costo real y valor económico total del agua, inversión Juntas de Regantes y el INDRHI, para el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego. Este costo total se obtuvo con la

tarifa de riego volumétrica total (Junta de Regantes e INDRHI) y el volumen perdido.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos comprueban la baja rentabilidad del sistema tarifario actual, los cuales no alcanzan la recuperación de los costos de O & M, los mismos se detallan a continuación. Las tablas 3 y 4 muestran la conversión de la tarifa por superficie a volumétrica para frutos menores (FM) y arroz (A), en la tabla 3 se observa que la tarifa de riego por superficie fluctúa entre RD\$ 34.79 a RD\$ 60.00 ta/año, y la tarifa volumétrica oscila entre RD\$ 0.0433 y RD\$ 0.3062 /m³. En la tabla 4 que corresponde al arroz, la de superficie va desde RD\$

120.00 a RD\$ 48.93/ta/año, y la volumétrica desde RD\$ 0.1496 hasta 0.3062 / m³. En la tabla 5 se observa que la eficiencia de riego promedio en los 20 sistemas de riego fue de 31.84 %; siendo la mínima 3.93 % para Guanito – San Juan y la máxima 64.79 % para Tamayo. La tabla 6 muestra la programación presupuestal de las Juntas de Regantes en las áreas de influencia bajo su responsabilidad, y en la tabla 7 se presentan los factores de ponderación que ajustan el presupuesto total programado al sistema de riego estudiado

Tabla 3. Conversión tarifa por superficie a volumétrica. Cultivo FM , cuadro 8

| Junta de Regantes | Sistema de riego | Tarifa por superficie (RD\$/ta/año) | Tarifa volumétrica (RD\$/m3) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Tamayo | Santana | 34.79 | 0.0433 |
| Promedio/ JR | | 34.79 | 0.0433 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio | 46.00 | 0.0658 |
| | La Antona | 46.00 | 0.0628 |
| | Chacuey | 46.00 | 0.0691 |
| Promedio/ JR | | 46.00 | 0.0659 |
| Guanito - San Juan | Guanito - San Juan | 43.00 | 0.3062 |
| Promedio/ JR | | 43.00 | 0.3062 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 81.67 | 0.2001 |
| Promedio/ JR | | 81.67 | 0.2001 |
| Nizao – Valdesia | Marcos A. Cabral | 60.00 | 0.1148 |
| | Nizao Najayo | 60.00 | 0.1229 |
| Promedio/ JR | | 60.00 | 0.1189 |
| Río Camú | Camú | N/A | N/A |
| Promedio/ JR | | N/A | N/A |
| Mao | Mao - Gurabo | 50.00 | 0.0691 |
| Promedio/ JR | | 50.00 | 0.0691 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 50.33 | 0.1176 |
| Promedio/ JR | | 50.33 | 0.1176 |
| YSURA | YSURA | 48.93 | 0.0867 |
| Promedio/ JR | | 48.93 | 0.0867 |
| Ulises Fco. Espaillat | Ulises Fco. Espaillat | 44.67 | 0.1767 |
| Promedio/ JR | | 44.67 | 0.1767 |
| Presa de Hatillo | Yuna | N/A | N/A |
| Promedio/ JR | | N/A | N/A |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha | N/A | N/A |
| | Jima Margen Izquierda | N/A | N/A |
| | Jima - Camú | N/A | N/A |
| Promedio/ JR | | N/A | N/A |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 40.00 | 0.2500 |
| | Hato del Padre | 40.00 | 0.2631 |
| | San Juan - Jinova | 40.00 | 0.2304 |

| | | |
|---------------------------|-------|--------|
| Promedio/ JR | 40.00 | 0.2478 |
| Promedio a nivel nacional | 49.94 | 0.1432 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Depto de Organización y Capacitación del INDRHI y Juntas de Regantes

Tabla 4. Conversión tarifa por superficie a volumétrica. Cultivo arroz, cuadro 9

| Junta de Regantes | Sistema de riego | Tarifa por superficie (RD\$/ta/año) | Tarifa volumétrica (RD\$/m3) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Tamayo | Santana | N/A | N/A |
| Promedio/ JR | | N/A | N/A |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio | 82.67 | 0.1496 |
| | La Antona | 82.67 | 0.1551 |
| | Chacuey | N/A | N/A |
| Promedio/ JR | | 82.67 | 0.15235 |
| Guanito - San Juan | Guanito - San Juan | 57.33 | 0.2382 |
| Promedio/ JR | | 57.33 | 0.2382 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 106.67 | 0.2001 |
| Promedio/ JR | | 106.67 | 0.2001 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral | 120.00 | 0.3389 |
| | NizaoNajayo | 120.00 | 0.2722 |
| Promedio/ JR | | 120.00 | 0.3056 |
| Río Camú | Camú | 80.00 | 0.273 |
| Promedio/ JR | | 80.00 | 0.273 |
| Mao | Mao - Gurabo | 100.00 | 0.1824 |
| Promedio/ JR | | 100.00 | 0.1824 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 100.67 | 0.2519 |
| Promedio/ JR | | 100.67 | 0.2519 |
| YSURA | YSURA | 48.93 | 0.0942 |
| Promedio/ JR | | 48.93 | 0.0942 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 89.33 | 0.2459 |
| Promedio/ JR | | 89.33 | 0.2459 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 76.00 | 0.2395 |
| Promedio/ JR | | 76.00 | 0.2395 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha | 66.67 | 0.1983 |
| | Jima Margen Izquierda | 66.67 | 0.1983 |
| | Jima - Camú | 66.67 | 0.1983 |
| Promedio/ JR | | 66.67 | 0.1983 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 76.00 | 0.2402 |
| | Hato del Padre | 76.00 | 0.2288 |
| | San Juan - Jinova | 76.00 | 0.2288 |
| Promedio/ JR | | 76.00 | 0.2326 |
| Promedio general | | 83.69 | 0.2159 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Depto de Organización y Capacitación del INDRHI y Juntas de Regantes

Tabla 5. Eficiencia de riego promedio sistemas de riego, cuadro 10

| Junta de Regantes | Sistema de riego | Eficiencia (%) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Tamayo | Santana | 64.79 |
| Promedio/ JR | | 64.79 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio | 53.05 |
| | La Antona | 52.63 |
| | Chacuey | 33.31 |
| Promedio/ JR | | 46.33 |
| Guanito - San Juan | Guanito - San Juan | 3.93 |
| Promedio/ JR | | 3.93 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 38.20 |
| Promedio/ JR | | 38.20 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral | 23.42 |
| | Nizao Najayo | 21.80 |
| Promedio/ JR | | 22.61 |
| Río Camú | Camú | 38.23 |
| Promedio/ JR | | 38.23 |
| Mao | Mao - Gurabo | 35.57 |
| Promedio/ JR | | 35.57 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 19.10 |
| Promedio/ JR | | 19.10 |
| YSURA | YSURA | 49.66 |
| Promedio/ JR | | 49.66 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 28.39 |
| Promedio/ JR | | 28.39 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 28 |
| Promedio/ JR | | 28 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha | 20.43 |
| | Jima Margen Izquierda | 21.1 |
| | Jima - Camú | 31.13 |
| Promedio/ JR | | 24.22 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 22.43 |
| | Hato del Padre | 14.80 |
| | San Juan - Jinova | 7.47 |
| Promedio/ JR | | 14.90 |
| Promedio a nivel nacional | | 31.84 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

Tabla 6. Presupuesto programado juntas de regantes / sistemas de riego, cuadro 11

| Sistema de riego | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Fernando Valerio | 13,213,000.00 | 13,213,000.00 | 15,832,000.00 | 14,086,000.00 |
| Villa Vásquez | 17,573,653.00 | 17,439,180.00 | 17,478,861.00 | 17,497,231.33 |
| Mao, inc. | 8,029,471.00 | 8,533,511.00 | 9,111,736.00 | 8,558,239.33 |
| Ulises Fco. Espaillat | 11,285,567.00 | 13,875,000.00 | 15,930,315.00 | 13,696,960.67 |
| Ms. Bogaert | 5,724,800.00 | 5,581,799.00 | 5,581,787.00 | 5,629,462.00 |
| Camú | 5,160,397.00 | 6,222,984.00 | 6,628,059.00 | 6,003,813.33 |
| Jima Margen Izquierda, Jima Margen Derecha y Jima – Camú | 6,120,125.00 | 8,200,000.00 | 8,600,000.00 | 7,640,041.67 |
| Yuna | 12,847,346.00 | 15,114,800.00 | 14,056,760.00 | 14,006,302.00 |
| Nizao - Valdesia | 12,780,952.00 | 14,505,799.00 | 14,666,536.00 | 13,984,429.00 |
| Ysura | 13,923,940.00 | 12,190,065.00 | 10,374,739.00 | 12,162,914.67 |
| José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan Jinova | 10,306,350.00 | 18,011,579.00 | 22,247,605.00 | 16,855,178.00 |
| Santana | 2,793,000.00 | 1,343,373.00 | 2,677,179.00 | 2,271,184.00 |
| Total | 119,758,601.00 | 134,231,090.00 | 143,185,577.00 | 132,391,756.00 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

Tabla 7. Factor de ponderación o ajuste % área – presupuesto, cuadro 12

| Junta Regantes | Sistemas de riego | % Área- Presupuesto |
|-----------------------------|---|------------------------|
| Tamayo | Santana | 49 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio, La Antona y Chacuey | 100 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 77 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral y Nizao - Najayo | 62 |
| Río Camú | Camú | 100 |
| Mao | Mao - Gurabo | 100 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 65 |
| YSURA | YSURA | 55 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 100 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 100 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha, JimaMrgen Izquierda y Jima - Camú | 100 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - Jinova | 89 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

4. DISCUSIÓN

En la tabla 8, se detallan por Junta de Regantes seleccionada, el ingreso promedio anual por concepto del cobro de la tarifa por superficie, donde se puede observar la variabilidad de ingresos entre ellas. La tabla 9 relaciona el presupuesto programado por sistema de riego y Junta de Regantes, y el requerimiento neto de riego de las áreas de influencia

de estos sistemas a los fines de calcular la tarifa volumétrica de riego. La tabla 10. muestra por periodo y promedio, las inversiones del INDRHI en los sistemas de riego y Juntas de Regantes, los requerimientos netos de riego, y como resultado de esto la tarifa volumétrica, la cual en promedio fue de RD\$ 0.1906 m³/año considerando la inversión del INDRHI en los sistemas de riego. La tabla 11 ofrece la tarifa volumétrica de riego total considerando la

inversión del INDRHI y el presupuesto programado de las Juntas de Regantes. El promedio general es de 0.3011 RD\$/m³/año. En la tabla 12 se presenta el procesamiento de datos y resultados que concluyen en que el costo del agua de riego no recuperable tomando en cuenta la inversión de las Juntas de Regantes fue de RD\$ 199,661,580.82 /año.

En base a los resultados anteriores, estos dan respuesta a la hipótesis de esta investigación “La tarifa por superficie que se aplica actualmente en las áreas bajo riego del país no permite la recuperación de los costos de O&M y tampoco contribuye a la conservación del recurso agua”, lo que pone en riesgo la sostenibilidad financiera y física y ambiental del servicio de riego en la República Dominicana. A continuación, discusión detallada de resultados obtenidos.

Conversión tarifa por superficie a tarifa volumétrica en función del volumen de agua requerido y la demanda de riego de los cultivos. Para frutos menores en promedio en los 20 sistemas de riego estudiados, la tarifa por superficie fue de RD\$ 49.94 y la volumétrica de RD\$ 0.1432 / m³; en el caso del arroz fue de RD\$ 83.69 ta/año y de RD\$ 0.2159 / m³. tablas 3 y 4.

Eficiencia de riego promedio en los 20 sistemas de riego. En este caso (tabla 5) se observa que la eficiencia de riego promedio en los 20 sistemas de riego fue de 31.84 %; siendo la mínima 3.93 % para Guanito – San Juan y la máxima 64.79 % para Tamayo. El caudal promedio derivado fue de 6.313 m³/s (3 años) convertidos a volumen derivado en los 20 sistemas de riego significó 5,972,603,040 m³; por lo que, la eficiencia promedio durante este periodo fue de 31.84 %, es decir que se perdió el 68.16 %, esto representa 4,070,926,232 m³ de agua que perjudica el estado saludable de los suelos para fines de producción de cultivos, entre otros impactos negativos al ecosistema.

Presupuesto programado promedio de las Juntas de Regantes y sistemas de riego. De las tablas 6 y 7 se puede entender que en las áreas de influencia de los sistemas de riego administrado por las Juntas de Regantes Fernando Valerio, Nizao-Valdesia, Mao, UFE, Presa de Hatillo y Presa de Rincón ocupan la totalidad o casi la totalidad de la inversión o presupuesto programado, por tal motivo el factor de ponderación o ajuste (% área-presupuesto) es de 100 %. En cambio, en las restantes Juntas de Regantes este factor varió desde un 49 % en Tamayo hasta un 77 % en Villa Vásquez.

Ingresos de las Juntas de Regantes y sistemas de riego. Según los valores de la tabla 8, el ingreso promedio anual por concepto del cobro de la tarifa

por superficie, el mayor lo posee la Junta de Regantes Ulises Fco. Espaillat en el sistema del mismo nombre con RD\$ 15,562,692.54 y el menor la Junta de Regantes Tamayo en el sistema de riego Santana con RD\$ 870,111.45.

Tarifa volumétrica (RD\$/m³) con presupuesto programado de las Juntas de Regantes (% área - presupuesto) / Requerimiento neto cultivos. La tabla 9 muestra que la menor tarifa volumétrica correspondió al sistema de riego Santana con 0.0060 RD\$/m³/año y la mayor a los sistemas de riego José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - Jinova con 0.3279 RD\$ m³/año. El promedio general fue de 0.1174 RD\$/m³/año.

Tarifa volumétrica en función de la inversión promedio del INDRHI en los sistemas de riego. Se puede observar en la tabla 10 que en promedio la inversión mayor realizada por el INDRHI fue al sistema de riego Marcos A. Cabral y Nizao – Najayo de la Junta de Regantes Nizao- Valdesia, con RD\$ 21,468,946.87. En cambio, la menor inversión promedio correspondió al sistema de riego Ms Bogaert de la Junta de Regantes del mismo nombre con RD\$ 3, 906,688.23.

En cuanto a la tarifa volumétrica en función de la inversión del INDRHI, se distingue que la mayor correspondió al sistema de riego Marcos A. Cabral y Nizao – Najayo de la Junta de Regantes Nizao-Valdesia con un valor de 0.5759 RD\$/m³/año, y la menor a los sistemas de riego Fernando Valerio, La Antona y Chacuey de la Junta de Regantes Fernando Valerio con 0.0450 RD\$/m³/año. En promedio la tarifa fue de RD\$ 0.1906 m³/año considerando la inversión del INDRHI en los sistemas de riego.

Tarifa total (RD\$/m³) con presupuesto programado promedio de las Juntas de Regantes (% área - presupuesto) / Requerimiento neto cultivos, más proporción promedio de tarifa inversión del INDRHI. La mayor correspondió (tabla 11) a los sistemas de riego José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan – Jinova con 0.5859 RD\$/m³/año y la menor a los sistemas de riego Fernando Valerio, La Antona y Chacuey con 0.1218 RD\$/m³/año. El promedio fue de RD\$ 0.3011 m³/año.

Costo real y valor económico del agua, inversión Junta de Regantes, para el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego. Los valores obtenidos (tabla 12) en relación a el costo del agua de riego no recuperable tomando en cuenta la inversión de las Juntas de Regantes fue de RD\$ 199,661,580.82 /año.

Costo real y valor económico total del agua, inversión Juntas de Regantes y el INDRHI para el

mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego. El monto obtenido (tabla 13) del valor económico total del agua no recuperable considerando la inversión de las Juntas de Regantes y del INDRHI fue de RD\$ 512, 009,699.75 /año, lo cual resulta catastrófico.

Costo ambiental de los proyectos de riego. Aparte de los costos primarios y adicionales (costos de amortización, mantenimiento, energía, administración, etc.) los proyectos de riego tienen también otros costos secundarios (indirectos, ambientales) que no están en relación directa con las técnicas y los objetivos del proyecto, pero que se hacen evidentes cuando se comparan los siguientes aspectos:

I. Las condiciones socio-económicas con y sin proyecto, teniendo en cuenta:

- a. Los grupos de personas que participan en el proyecto;
- b. Los grupos de personas fuera o expulsados de la zona del proyecto.

II. El valor de los recursos naturales con y sin proyecto.

III. La calidad de los recursos naturales antes y después del proyecto, tanto dentro como fuera de la zona del proyecto.

El riego representa una alteración de las condiciones naturales del paisaje mediante la extracción de agua de una fuente disponible, la adición de agua a los campos donde no había agua antes (o era muy poca), y la introducción de estructuras artificiales para extraer, transferir y disponer de agua. Los proyectos de riego y prácticas de la agricultura de regadío pueden afectar el medio ambiente en una variedad de maneras. Para los fines de este estudio se consideran principalmente los impactos ambientales derivados del suministro de agua y la operación de los sistemas de riego, las cuales son tareas bajo la responsabilidad del INDRHI (a través de los Distritos de Riego) y conjuntamente con las Juntas de Regantes. Además, vale la pena también señalar los impactos ambientales derivados de las prácticas agrícolas y la aplicación de agua a los cultivos. Para un mejor entendimiento de estos dos puntos, se presenta a continuación una breve descripción.

Impacto ambiental derivado del suministro de agua y la operación de proyectos de riego. La agricultura bajo riego depende de los suministros de aguas superficiales o subterráneas. El impacto medioambiental de los sistemas de riego depende de la naturaleza de la fuente de agua, la calidad del agua, y como el agua se entrega a la tierra de regadío. La extracción de agua subterránea puede provocar el

hundimiento de la tierra, la salinización de acuíferos, o puede acelerar otros tipos de contaminación del agua subterránea. La extracción de aguas superficiales implica cambios en la hidrología natural de los ríos y corrientes de agua, cambios en la temperatura del agua, y otras alteraciones de las condiciones naturales, a veces afectando profundamente los ecosistemas acuáticos asociados a estos cuerpos de agua. La salinidad en las aguas es un fenómeno natural debido a la erosión de materiales parentales salinos provenientes de la captación de agua de mar y otras fuentes. La calidad de los suministros de agua varía, pero las fuentes de agua con alta salinidad, tendrá un impacto en la calidad de las tierras de regadío y la sostenibilidad de la producción agrícola con el apoyo de esta tierra, sobre todo cuando existe una mala gestión. La operación y gestión de los sistemas de riego deben incluir el monitoreo y la reducción de las pérdidas de agua por infiltración, sobre todo si esta es un componente importante de la recarga de los niveles freáticos. La combinación de suministro de agua de baja calidad y el aumento de los niveles freáticos conducirá a la larga a la saturación y la salinización de los suelos, amenazando la sostenibilidad de los sistemas de riego existentes. Una adecuada atención a la calidad y cantidad de los flujos de retorno del riego también es importante para identificar y mitigar los posibles impactos en las aguas receptoras.

Impacto ambiental derivado de las prácticas agrícolas y la aplicación de agua a los cultivos. El manejo de los sistemas de aplicación del agua, así como la pertinencia de prácticas agrícolas relacionadas tiene una gran influencia en el impacto ambiental de la agricultura de regadío. Entre los problemas más comunes se pueden citar la saturación, la salinización y la erosión del suelo en las áreas irrigadas; así como la contaminación por la escorrentía o descargas residuales agrícolas. La salinización se ha relacionado con la agricultura bajo riego desde sus inicios. Una de las razones es que el riego a menudo exagera los efectos de la salinidad, que se produce naturalmente. Toda el agua de riego contiene sales disueltas y el agua de lluvia también contiene algunas sales. Estas sales son por lo general en muy baja concentración en el agua misma. Sin embargo, la evaporación del agua de la superficie seca del suelo deja atrás las sales. La salinización es especialmente propensa a convertirse en un problema en suelos de mal drenaje cuando el agua subterránea está a menos de tres metros de la superficie (dependiendo del tipo de suelo).

La saturación del suelo suele producirse por el uso excesivo y/o la mala gestión del agua de riego. El revestimiento y recubrimiento de los canales de riego

desde las presas de almacenamiento hasta el punto de entrega mejora el uso del agua y al mismo tiempo reduce el riesgo de un aumento en el nivel freático en muchas zonas de regadío. Este procedimiento también beneficia a las zonas que sufren de salinización.

La escorrentía agrícola es una de las principales fuentes difusas de contaminación del agua. La escorrentía de agroquímicos es ante todo un problema localizado en las áreas donde el uso de insumos agrícolas es muy alto. No sólo los nutrientes y otras sustancias químicas son transportadas por las aguas de escorrentía de riego. La erosión del suelo y su posterior transporte de sedimentos (y productos químicos adsorbidos) es causada también por la escorrentía del exceso de agua de riego que se aplica a las tierras de cultivo. La erosión del suelo reduce la productividad de la tierra. Entre los métodos de riego, el riego por surcos causa más erosión que el uso de aspersores o riego por goteo.

Análisis del costo ambiental de los sistemas de riego en la República Dominicana. Este acápite tiene el propósito de analizar el impacto económico-ambiental de la situación actual y el uso de medidas para el ahorro de agua. Así como el costo ambiental de la sobre aplicación de agua de riego en las áreas agrícolas. Desde su creación en 1965, el INDRHI ha tenido que enfrentar el grave problema resultante de un insuficiente drenaje y de alta salinidad que presentaban varias áreas bajo riego. A través del tiempo la institución ha capacitado a su personal técnico en cuestiones relacionadas con técnicas de riego y drenaje mediante el envío de grupos de técnicos al exterior.

La última cuantificación de las áreas afectadas por problemas de drenaje y salinidad en los Distritos de Riego que realizó el INDRHI fue en el año 2006. La misma fue basada en los estudios de suelos realizados en las zonas de influencia de los sistemas de riego, así como la interpretación de mosaico de ortofotos. El resultado fue que el 47% de las áreas de los Distritos de Riego presentó algún tipo de problema, sean estos por salinidad o drenaje, o por ambos a la vez, (INDRHI, 1ra edición, 2006).

Si se analiza el impacto económico-ambiental de la situación actual de los sistemas de riego en el país, de acuerdo a los resultados del presente estudio, se pueden sacar varias conclusiones importantes. Con relación al costo ambiental debido a la sobre aplicación de agua para riego, se puede establecer

que las zonas más afectadas son las áreas de las Juntas de Regantes Ulises Fco. Espaillat, Presa de Hatillo, Fernando Valerio y Presa de Rincón, presentan los mayores volúmenes de agua perdidos con 367.72, 349.84, 281.70 y 278.81 MM³/año, y por tanto son los sistemas que se verán más afectados por problemas ambientales como son el aumento de los niveles freáticos (que contribuye a la saturación de los suelos), la salinización de las tierras regadas, etc. Asimismo, se podría afirmar que se está agravando la situación en las zonas bajo riego de los Distritos Yuna-Camú y Distrito Bayo Yaque del Norte, con relación a las tierras con problema de drenaje y salinización, según las estimaciones que hizo el INDRHI para el año 2006, debido a que las Juntas de Regantes mencionadas más arriba pertenecen a estos dos Distritos de Riego.

Con relación al impacto o costo económico se puede observar también en la tabla 18 que las áreas bajo riego de la Junta de Regantes San Juan y la Junta de Regantes Nizao-Valdesia son los que acumulan las mayores pérdidas económicas con 139.66 y 124.30 MM RD\$/año respectivamente, basado en los volúmenes perdidos de agua de riego. Cabe señalar aquí de nuevo, que los volúmenes que pudieran ser reusados para riego solo llegan en promedio al 33% de los volúmenes perdidos, por lo tanto, el valor real del costo económico para las dos áreas mencionadas equivale a 46.09 y 41.02 MM RD\$/año.

La importancia de estos dos valores (y cualquier otro valor que se derive de la misma forma a partir de la tabla 18) es que pueden servir para hacer un análisis económico, ya sea de la relación beneficio-costos o de la tasa interna de retorno, para cualquier inversión que se considere hacer en infraestructura, técnicas o métodos de riego que contribuya al ahorro y conservación del agua en los sistemas considerados en este estudio. Es importante destacar, que la economía del agua constituye un reto que las Juntas y Asociaciones de Regantes han empezado a enfrentar, convencidas que una buena gestión de los sistemas de riego tiene relación directa tanto con la eficiencia del riego, como con la conservación de los recursos agua y suelo.

Cuando finalmente se dicten las disposiciones legales pertinentes y se considere el agua para riego por volumen y no por superficie, habrá un importante ahorro de agua que permitirá, entre otros resultados positivos, ampliar la frontera cultivada bajo riego.

Tabla 8. Ingresos de Juntas de Regantes / Sistemas de riego. Cuadro 13

| Sistemas de riego | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Fernando Valerio | 11,557,186.13 | 20,091,816.54 | 13,677,517.05 | 15,108,839.91 |
| Villa Vásquez | 11,254,567.25 | 13,648,722.00 | 14,150,277.60 | 13,017,855.62 |
| Mao, inc. | 8,029,470.51 | 8,533,510.68 | 9,111,736.42 | 8,558,239.20 |
| Ulises Fco. Espaillat | 11,774,492.78 | 16,115,184.23 | 18,798,400.62 | 15,562,692.54 |
| Ms. Bogaert | 3,707,896.16 | 3,377,223.72 | 3,981,666.79 | 3,688,928.89 |
| Camu | 4,684,827.99 | 5,364,838.24 | 6,789,181.48 | 5,612,949.24 |
| Jima Margen Izquierda, Jimena Margen Derecha y Jimena - Camu | 6,568,452.30 | 6,639,337.49 | 7,664,241.14 | 6,957,343.64 |
| Yuna | 11,211,549.12 | 10,953,049.72 | 12,540,200.92 | 11,568,266.59 |
| Nizao-Valdesia | 9,097,000.82 | 9,868,091.20 | 8,633,403.70 | 9,199,498.57 |
| Ysura | 6,225,552.65 | 6,803,694.51 | 7,475,790.76 | 6,835,012.64 |
| José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan Jinova | 12,332,318.79 | 12,518,004.24 | 10,021,640.86 | 11,623,987.96 |
| Santana | 189,781.77 | 512,570.00 | 1,907,982.59 | 870,111.45 |
| Total | 96,633,096.27 | 114,426,042.57 | 114,752,039.93 | 108,603,726.26 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

Tabla 9. Tarifa volumétrica con presupuesto programado de las Juntas de Regantes, 14

| Tarifa volumétrica con presupuesto programado (% área = presupuesto) / Requerimiento neto cultivos | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Junta de Regantes | Sistema de riego | Presupuesto programado (RD\$) | | | | Requerimiento neto cultivos (m3) | | | | Tarifa (RD\$/m3) |
| | | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio | |
| Tamayo | Santana | 1,370,467.82 | 573,479.64 | 1,140,291.94 | 1,028,079.80 | 158,466,577.65 | 176,459,052.89 | 177,363,652.20 | 170,763,094.24 | 0.0060 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio, La Antona y Chacuey | 13,328,571.86 | 13,837,605.16 | 13,566,370.17 | 20,366,273.60 | 292,142,585.99 | 214,658,017.89 | 289,155,282.10 | 265,318,628.66 | 0.0768 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 13,644,258.48 | 13,691,677.33 | 13,087,234.04 | 13,474,389.95 | 153,375,316.49 | 154,446,456.46 | 144,340,741.22 | 150,720,838.06 | 0.0894 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral y Nizao - Najayo | 8,015,160.24 | 9,980,486.29 | 9,061,116.14 | 9,018,920.89 | 59,606,332.50 | 76,128,286.83 | 19,544,319.90 | 51,759,646.41 | 0.1742 |
| Río Camú | Camú | 5,207,245.28 | 6,213,948.38 | 6,663,989.81 | 6,028,394.49 | 37,939,172.85 | 41,327,564.40 | 31,602,306.06 | 36,956,347.77 | 0.1631 |
| Mao | Mao - Gurabo | 8,747,316.71 | 9,507,637.11 | 10,452,349.36 | 9,569,101.06 | 100,348,573.07 | 95,004,443.06 | 89,820,054.33 | 95,057,690.15 | 0.1007 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 3,758,198.96 | 3,661,941.59 | 3,667,977.98 | 3,696,039.51 | 42,659,144.68 | 27,064,617.46 | 26,475,968.61 | 32,066,576.92 | 0.1153 |
| YSURA | YSURA | 7,720,422.53 | 6,860,945.05 | 5,909,767.31 | 6,830,378.30 | 114,524,994.06 | 115,139,684.13 | 114,524,994.06 | 114,729,890.75 | 0.0595 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 11,403,311.93 | 13,758,931.84 | 16,089,199.00 | 13,750,480.92 | 159,282,770.81 | 134,177,717.80 | 139,569,967.41 | 144,343,485.34 | 0.0953 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 12,956,876.50 | 15,224,330.49 | 14,182,162.00 | 14,121,123.00 | 119,293,109.48 | 123,903,892.08 | 107,370,215.09 | 116,855,738.88 | 0.1208 |
| Presa de Rincón | Jimena Margen Derecha, Jimena Margen Izquierda y Jimena - Camú | 6,185,809.52 | 6,631,759.37 | 8,676,487.41 | 7,164,685.43 | 90,320,349.24 | 90,505,294.11 | 88,834,737.54 | 89,886,793.63 | 0.0797 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - Jinova | 9,295,974.69 | 15,382,531.03 | 16,935,555.20 | 13,871,353.64 | 41,820,310.85 | 42,867,178.90 | 42,225,498.73 | 42,304,329.49 | 0.3279 |
| Promedio a nivel nacional | | | | | | | | | | 0.1174 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

Tabla 10. Tarifa volumétrica en función de la inversión promedio del INDRHI en los sistemas de riego

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Río Camú. Canal Camú | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 37,939,172.85 | 41,327,564.40 | 31,602,306.06 | 36,956,347.77 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 23,588,483.86 | 13,364,154.16 | 11,673,650.73 | 16,208,762.92 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.6217 | 0.3234 | 0.3694 | 0.4382 |

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Fernando Valerio. Canales: Fernando Valerio, La Antona y Chacuey. | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 292,142,585.99 | 214,658,017.89 | 289,155,282.10 | 265,318,628.66 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 17,476,976.44 | 9,235,888.99 | 9,273,843.50 | 11,995,569.64 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.0598 | 0.0430 | 0.0321 | 0.0450 |

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Presa de Hatillo. Canal: YUNA | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 119,293,109.48 | 123,903,892.08 | 107,370,215.09 | 116,855,738.88 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 11,239,786.31 | 3,807,950.00 | 1,355,669.23 | 5,467,801.85 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.0942 | 0.0307 | 0.0126 | 0.0459 |

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Horacio Vásquez. Canal: Villa Vásquez | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 153,375,316.49 | 154,446,456.46 | 144,340,741.22 | 150,720,838.06 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 23,937,317.22 | 9,158,402.70 | 6,988,062.89 | 13,361,260.94 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.1561 | 0.0593 | 0.0484 | 0.0879 |

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Mao. Canal: Mao | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 100,348,573.07 | 95,004,443.06 | 89,820,054.33 | 95,057,690.15 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 8,378,780.00 | 3,926,714.00 | 2,871,350.11 | 5,058,948.04 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.0835 | 0.0413 | 0.0320 | 0.0523 |

| Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Mesie Bogaert. Canal: Mesie Bogaert | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 42,659,144.68 | 27,064,617.46 | 26,475,968.61 | 32,066,576.92 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 7,541,952.22 | 2,607,504.42 | 1,570,608.05 | 3,906,688.23 |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.1768 | 0.0963 | 0.0593 | 0.1108 |
|---|--------|--------|--------|--------|

Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Nizao-Valdesia. Canal: Marcos A. Cabral y Nizao-Najayo

| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 59,606,332.50 | 76,128,286.83 | 19,544,319.90 | 51,759,646.41 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 25,020,590.75 | 18,600,598.69 | 20,785,651.17 | 21,468,946.87 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.4198 | 0.2443 | 1.0635 | 0.5759 |

Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Presa de Rincón. Canales: Jima Margen Derecha, Jima Margen Izquierda y Jima - Camú

| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 90,320,349.24 | 90,505,294.11 | 88,834,737.54 | 89,886,793.63 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 10,470,682.46 | 2,842,750.00 | 3,428,523.55 | 5,580,652.00 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.1159 | 0.0314 | 0.0386 | 0.0620 |

Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes UFE. Canal: UFE

| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 159,282,770.81 | 134,177,717.80 | 139,569,967.41 | 144,343,485.34 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 17,103,756.26 | 8,870,432.25 | 12,651,552.98 | 12,875,247.16 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.1074 | 0.0661 | 0.0906 | 0.0880 |

Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Valle de San Juan. Canales: José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan Jinova

| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 41,820,310.85 | 42,867,178.90 | 42,225,498.73 | 42,304,329.49 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 15,390,139.78 | 5,738,533.58 | 11,492,580.73 | 10,873,751.36 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.3680 | 0.1339 | 0.2722 | 0.2580 |

Tarifa volumétrica en función de inversión del INDRHI: Junta de Regantes Valle de Azua. Canales: sistema de Riego YSURA

| VARIABLES | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Requerimiento Neto de cultivos (m ³) | 119,293,109.48 | 123,903,892.08 | 107,370,215.09 | 116,855,738.88 |
| Inversión INDRHI (RD\$) | 54,714,126.94 | 45,821,490.66 | 54,676,514.74 | 51,737,377.45 |
| Tarifa volumétrica (RD\$/m ³) | 0.4587 | 0.3698 | 0.5092 | 0.4459 |

Fuente: Dirección de operación del INDRHI y elaboración propia

Tabla 11. Tarifa volumétrica total, inversión Junta de Regantes y el INDRHI

| Junta Regantes | Sistemas de riego | Tarifa volumétrica promedio con presupuesto programado de las Juntas de Regantes | Tarifa volumétrica promedio inversión del INDRHI (RD\$/m ³) | Tarifa total presupuesto Junta de Regantes e inversión del INDRHI (RD\$/m ³) |
|----------------------------|--|--|---|--|
| Tamayo | Santana | 0.006 | -- | 0.006 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio, La Antona y Chacuey | 0.0768 | 0.045 | 0.1218 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 0.0894 | 0.0879 | 0.1773 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral y Nizao - Najayo | 0.1742 | 0.5759 | 0.7501 |
| Río Camú | Camú | 0.1631 | 0.4382 | 0.6013 |
| Mao | Mao - Gurabo | 0.1007 | 0.0523 | 0.153 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 0.1153 | 0.1108 | 0.2261 |
| YSURA | YSURA | 0.0595 | 0.4459 | 0.5054 |
| Ulises Fco. Espailat (UFE) | Ulises Fco. Espailat (UFE) | 0.0953 | 0.088 | 0.1833 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 0.1208 | 0.0459 | 0.1667 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha, Jima Margen Izquierda y Jima - Camú | 0.0797 | 0.062 | 0.1417 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - Jinova | 0.3279 | 0.258 | 0.5859 |
| Promedio | | 0.1174 | 0.2009 | 0.3011 |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

Tabla 12. Costo real y valor económico del agua, inversión de las Juntas de Regantes

| Apreciación real del costo y el valor económico del recurso agua en el país | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|------------------------------|-----------|-----------|-----------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Junta de Regantes | Sistema de riego | Volumen neto derivado (mm3) | | | | Ef. Riego | Volumen bruto derivado (mm3) | | | | Vol. Perdido mm3 | Costo agua RD\$/m ³ /año | Costo agua Millones (RD\$)/ |
| | | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio | | 2007-2008 | 2008-2009 | 2009-2010 | Promedio | | | |
| Tamayo | Santana | 160.09 | 164.68 | 188.94 | 171.24 | 0.6479 | 247.09 | 254.17 | 291.62 | 264.29 | 93.06 | 0.0060 | 0.56 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio, La Antona y | 249.05 | 249.05 | 231.13 | 243.08 | 0.4633 | 537.67 | 537.67 | 498.98 | 524.77 | 281.70 | 0.0768 | 21.63 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 155.98 | 175.33 | 149.90 | 160.40 | 0.3820 | 408.32 | 458.99 | 392.40 | 419.90 | 259.50 | 0.0894 | 23.20 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral y Nizao - Najayo | 50.50 | 74.39 | 20.35 | 48.41 | 0.2261 | 223.36 | 329.03 | 90.00 | 214.13 | 165.72 | 0.1742 | 28.88 |
| Río Camú | Camú | 38.14 | 42.57 | 37.77 | 39.49 | 0.3823 | 99.76 | 111.34 | 98.80 | 103.30 | 63.81 | 0.1631 | 10.41 |
| Mao | Mao - Gurabo | 99.17 | 94.06 | 106.09 | 99.77 | 0.3557 | 278.80 | 264.44 | 298.25 | 280.50 | 180.72 | 0.1007 | 18.19 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 33.63 | 35.79 | 29.53 | 32.98 | 0.1910 | 176.08 | 187.36 | 154.63 | 172.69 | 139.71 | 0.1153 | 16.10 |
| YSURA | YSURA | 104.46 | 146.77 | 102.34 | 117.86 | 0.4966 | 210.36 | 295.55 | 206.08 | 237.33 | 119.47 | 0.0595 | 7.11 |
| Ulises Fco. Espailat (UFE) | Ulises Fco. Espailat (UFE) | 162.93 | 151.90 | 122.52 | 145.79 | 0.2839 | 573.91 | 535.05 | 431.57 | 513.51 | 367.72 | 0.0953 | 35.03 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 160.34 | 158.79 | 89.02 | 136.05 | 0.2800 | 572.65 | 567.09 | 317.94 | 485.89 | 349.84 | 0.1208 | 42.28 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha, Jima Mrgen Izquierda y | 89.54 | 97.66 | 80.14 | 89.11 | 0.2422 | 369.68 | 403.21 | 330.87 | 367.92 | 278.81 | 0.0797 | 22.22 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - | 43.17 | 45.18 | 36.85 | 41.74 | 0.1490 | 289.72 | 303.25 | 247.34 | 280.10 | 238.37 | 0.3279 | 78.16 |
| Totales / promedios | | | | | 1,325.92 | | | | | 3,864.34 | 2,538.43 | 0.1174 | 303.77 |
| Volumen total perdido = | | 2,538,427,443.00 | | m3/año | | | | | | | | | |
| Volumen reusado (33 %) = | | 837,681,056.19 | | m3/año | | | | | | | | | |
| Volumen no recuperable = | | 1,700,746,386.81 | | m3/año | | | | | | | | | |
| Costo del agua no recuperable (RD\$/m ³ /año)= | | 199,661,580.82 | | | | | | | | | | | |

Tabla 13. Costo real y valor económico total del agua, inversión Juntas de Regantes y del INDRHI

| Junta de Regantes | Sistema de riego | Volumen Perdido (mm ³) | Costo agua (RD\$/m ³ /año) | Costo agua Millones (RD\$/año) |
|---|--|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Tamayo | Santana | 93.06 | 0.006 | 0.56 |
| Fernando Valerio | Fernando Valerio, La Antona y Chacuey | 281.70 | 0.1218 | 34.31 |
| Horacio Vásquez | Villa Vásquez | 259.50 | 0.1773 | 46.01 |
| Nizao - Valdesia | Marcos A. Cabral y Nizao - Najayo | 165.72 | 0.7501 | 124.30 |
| Río Camú | Camú | 63.81 | 0.6013 | 38.37 |
| Mao | Mao - Gurabo | 180.72 | 0.153 | 27.65 |
| Ms. Bogaert | Ms. Bogaert | 139.71 | 0.2261 | 31.59 |
| YSURA | YSURA | 119.47 | 0.5054 | 60.38 |
| Ulises Fco. Espaillat (UFE) | Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 367.72 | 0.1833 | 67.40 |
| Presa de Hatillo | Yuna | 349.84 | 0.1667 | 58.32 |
| Presa de Rincón | Jima Margen Derecha, Jima Margen Izquierda y Jima - Camú | 278.81 | 0.1417 | 39.51 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello, Hato del Padre y San Juan - Jinova | 238.37 | 0.5859 | 139.66 |
| Totales/promedios | | 2,538.43 | 0.30105 | 668.06 |
| Volumen total perdido = | | | 2,538,427,443.00 | m ³ /año |
| Volumen reusado (33 %) = | | | 837,681,056.19 | m ³ /año |
| Volumen no recuperable = | | | 1,700,746,386.81 | m ³ /año |
| Costo del agua no recuperable (RD\$/m ³ /año)= | | | 512,009,699.75 | |

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las Juntas de Regantes y el Depto. de Organización y Capacitación del INDRHI

5. CONCLUSIONES

El deterioro que presentan los sistemas de riego permite señalar que la tarifa por superficie no asegura los costos de O&M de los sistemas de riego, por lo que se requiere implementar un sistema tarifario en función al volumen de agua derivado a los usuarios para irrigar sus cultivos. Como conclusiones de esta investigación se puede mencionar lo siguiente: La conversión de tarifa por superficie a tarifa volumétrica en función del volumen de agua requerido y la demanda de riego de los cultivos, para frutos menores en promedio en los 20 sistemas de riego estudiados; la tarifa por superficie fue de RD\$ 49.94 y la volumétrica de RD\$ 0.1432/m³; en el caso del arroz fue de RD\$ 83.69 ta/año y de RD\$ 0.2159/m³. La eficiencia de riego promedio calculada para los 20 sistemas de riego fue de 31.84 %. El conocer la eficiencia de riego permite formular una

estrategia para el ahorro y uso eficiente del recurso agua en las áreas bajo riego. La tarifa volumétrica (RD\$/m³) con presupuesto programado de las Juntas de Regantes y los Requerimientos neto cultivos, en promedio resultó de RD\$ 0.1174/me/año; considerando la inversión del INDRHI fue de RD\$ 0.1906 m³/año; y tomando en cuenta ambas inversiones fue calculada en de RD\$ 0.3011 m³/año. El costo real y valor económico del agua, considerando la inversión de las Juntas de Regantes, para el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego, ascendió a RD\$ 199,661,580.82/año. Y tomado en cuenta la inversión del INDRHI y de las Juntas de regantes fue de RD\$ 512, 009,699.75/año. Vista la realidad de la baja eficiencia de riego en los sistemas de riego estudiados, el deterioro de los sistemas de riego, y respondiendo a los objetivos del estudio, estas

recomendaciones se enfocan en las siguientes sugerencias o propuestas: Sugerencias de estrategia para el ahorro y uso eficiente del recurso agua en las áreas bajo riego de la República Dominicana, basada en instrumentos técnicos, económicos y financieros. Estrategia Técnica. La correcta administración de los recursos hídricos escasos, requiere considerar todos los factores que intervienen tanto en la demanda de riego del cultivo, como en la disponibilidad de agua desde el suelo. Estos factores se definen conceptualmente a través de las “relaciones agua-suelo-planta”, las cuales permiten relacionar factores de suelo, clima y planta para el manejo eficiente del riego de los cultivos. Clima y cultivo. Es necesario contar con una red de estaciones meteorológicas en las áreas de influencia de los sistemas de riego que permitan obtener valores de la demanda ambiental representada por la Evapotranspiración de Referencia (ET_o). A partir de estos valores es posible definir diariamente la demanda ambiental de los cultivos, la cual debe ser repuesta a través del aporte de riego. Conjuntamente al clima, se debe analizar el nivel de desarrollo del cultivo, el cual queda definido a través del concepto de Coeficiente de Cultivo (K_c). Condiciones de suelo. La caracterización de la profundidad efectiva del suelo, así como la distribución y densidad de raíces en profundidad y lateralmente, es fundamental si se busca aumentar la eficiencia de aplicación del agua de riego. Así como la capacidad del suelo de almacenar agua para la disponibilidad de los cultivos es otro factor a tomar en cuenta. A partir de esta caracterización es posible definir los tiempos de riego que permitan humedecer zonas del suelo con la mayor densidad de raíces activas y profundidades donde el agua es aprovechada por las plantas. Capacitación. La capacitación sostenida a los técnicos y agricultores en torno de los sistemas de riego sobre el uso y aprovechamiento eficiente del agua a nivel parcelario debe considerarse como una actividad de importancia. En la actualidad se usan tecnologías que permiten el ahorro del agua de riego, entre otras, se pueden mencionar las siguientes: Riego localizado, Riego deficitario controlado, Invernaderos alta tecnificación, etc. Estrategia económica-financiera. La productividad de las tierras de regadío es aproximadamente tres veces superior a la de las de secano. Más allá de este dato global, existen muchas razones para destacar la función del control de los recursos hídricos en la agricultura. La inversión en la mejora de los regadíos supone una garantía frente a las variaciones pluviométricas y estabiliza la producción agrícola, impulsando la productividad de los cultivos y permitiendo que los agricultores diversifiquen su actividad. Ello tiene un reflejo en un incremento y una menor volatilidad de los ingresos

agrícolas. (FAO, 2005). La implementación de la tarifa volumétrica de riego en los sistemas de riego sería el instrumento principal, del punto de vista, económico y financiero, para generar un ahorro y uso eficiente uso del agua de riego, así como, asegurar el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego. Sugerencias sobre la implementación de un sistema tarifario efectivo basado en las condiciones locales, que contribuya a la sustentabilidad financiera, física y ambiental de los sistemas de riego en la República Dominicana.

1. Marco legal actualizado para la sostenibilidad financiera de los sistemas de riego, incluyendo la implementación de un sistema tarifario que responda a las necesidades reales para cubrir los costos de O&M y manejo ambiental.
2. La implementación del cobro de la tarifa en base al volumen del agua usada para el desarrollo de los cultivos representa un costo elevado en dispositivos de medición y en infraestructura de riego, si se lleva a cabo para cada una de las parcelas de los sistemas de riego, ya que se deberán colocarse dispositivos para medir el volumen entregado por parcela. Sin embargo, resultaría más económico cuantificar el agua entregado por sectores de riego o laterales y proporcionalmente distribuir el costo del agua entre los beneficiados, en base a la elaboración de un plan de riego y cultivos, que especifique cultivo, área y demanda de riego. Para esto también se deberán instalar en mucho menor cantidad instrumentos de medición de caudales/volumenes suministrados a los sectores, y un registro continuo de los mismos. Lo ideal sería automatizar esta actividad; lo que ahorraría mano de obra y aumentaría la eficiencia de distribución del agua de riego. En caso contrario, debido al alto costo de implementar la tarifa volumétrica, se requiere de la sincerización de los costos de la tarifa por superficie, para que realmente abarque todos los costos directos e indirectos, incluyendo el manejo ambiental.
3. Los presupuestos anuales que se elaboran anualmente en los sistemas de riego, para la administración, operación y mantenimiento deben responder a las necesidades reales para una administración efectiva. La administración de un sistema de riego debe considerarse como una empresa sin fines de lucro. Los ingresos provenientes de la tarifa deben ser suficientes para cubrir los costos reales de los sistemas de riego.
4. El asesoramiento para la implementación de tarifa volumétrica es aconsejable. Esto debe ser

incluido en proyectos con financiamiento interno o externo que incluya costos directos e indirectos.

5. La sugerencia o propuesta (protocolo) preliminar para medir y cobrar la entrega de volúmenes a nivel de sectores o laterales debe ser discutida y consensuada entre las instituciones relacionadas con esta temática, incluyendo el INDRHI.

a. Previo al inicio del año agrícola se calcula por sistema de riego, las necesidades brutas de agua que requerirán los cultivos. Es decir, se elabora un plan de riego y cultivos, que incluya: las áreas de siembra, los cultivos, aspectos climáticos para el cálculo de la demanda, entre otros.

b. Se prepara el presupuesto de los sistemas de riego, para la administración, operación y mantenimiento, que deberá responder a las necesidades reales para una administración, operación y mantenimiento efectivo.

c. Se determina la disponibilidad neta de agua anual en la fuente de abastecimiento, a un 80 o más porcentaje de probabilidades de ocurrencia.

d. Se calcula el costo por m³ del agua relacionando la disponibilidad en la fuente de abastecimiento y el presupuesto anual del sistema de riego.

e. Realizado lo antes mencionado, considerando como ejemplo, el área de influencia de un sector de riego u lateral, se procedería de la siguiente manera:

e.1. Cada usuario del área de influencia del lateral pagará la tarifa volumétrica establecida.

e.2. Se calcula la demanda (volumen) neto de riego de cada parcela (usuario) sembrada. Entonces cada usuario pagará lo que le corresponde en función del volumen estimado que requerirá su cultivo, en función al costo por m³ de la tarifa calculada.

e.3. Si el volumen derivado al área de influencia del lateral supera lo esperado, entonces los agricultores del lateral deberán pagar el costo adicional del agua, de manera proporcional en función del área sembrada, antes del próximo año agrícola. En caso que el volumen derivado sea menor al esperado, entonces, se le acreditará a cada

agricultor del lateral este monto proporcionalmente en base al área de siembra.

6. Es recomendable que este protocolo de implementación de un sistema tarifario volumétrico sea computarizado y que el personal sea capacitado para tales fines. Además, se sugiere que se inicie este sistema con un (as) áreas pilotos para evaluar el procedimiento y tomar las medidas correctivas si procede.

7. Impacto de la aplicación del sistema de tarifa volumétrica del uso del agua para riego en América Latina y el Caribe.

El presente trabajo de investigación sobre la aplicación de un sistema tarifario volumétrico en el uso del agua de riego, podría ser una herramienta de utilidad en los países de Latinoamérica y el Caribe que estén confrontando problemas en la administración, mantenimiento y distribución del agua a las áreas bajo siembra donde los costos O & M no sean rentables, debido a los bajos precios del cobro del agua en sus sistemas tarifarios actuales. La implementación de la tarifa volumétrica de riego en los sistemas de riego sería el instrumento principal, del punto de vista, económico y financiero, para generar un ahorro y uso eficiente uso del agua de riego, así como, asegurar el mantenimiento, operación y administración de los sistemas de riego.

Agradecimientos

Estudio financiado por:

- Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD).
- Fondo para el Fomento de la Investigación Económica y Social (FIES).

Abreviaciones

INDRHI Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
CEHICA Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe.

FIES Fondo para el Fomento de la Investigación Económica y Social.

Pm. Precipitación media (Pm)

Pe. Precipitación efectiva (Pe)

Eto. Evapotranspiración de referencia

ONAMET. Oficina Nacional de Meteorología

(A). Arroz

(FM). Frutos menores

Efr. Eficiencia de riego

(O&M). Operación y Mantenimiento

REFERENCIAS

- Caballer, V., Guadalajara, N. (1998). Valoración económica del agua de riego, Capítulo 2, pág. 25.
- Chalas, J. (1994). Demanda de Riego Actual y Futura en la República Dominicana, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.
- Doorenbos, J. (1980). FAO. Riego y Drenaje, Vol. 33.
- FAO (2005). Capítulo V, Principales aspectos de la política de riego.
- Fuentes, J. (1994). Técnicas de Riego. 2da edición. pp 64-65. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.
- INDRHI (2006). El INDRHI en el desarrollo nacional, 1ra edición, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.
- INDRHI (2006). Las Juntas de Regantes, La Gobernanza del Riego. Capítulo 4.3, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.
- INDRHI (2006). Las Juntas de Regantes. La Gobernanza del Riego. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.
- INDRHI (2012). Plan Hidrológico Nacional. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. República Dominicana.

Como citar este artículo:

Chalas, J., Ramírez J., Méndez G., Bello L. (2020). Sostenibilidad Financiera, Física y Ambiental del Servicio Tarifario de Riego en la República Dominicana. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 1-21. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Financing water and sanitation services: two types of funds for facing investment challenges in Brazil

La financiación de los servicios de agua y saneamiento: dos tipos de fondos para hacer frente a los desafíos de la inversión en el Brasil



Vitor Carvalho Queiroz^{1*}, Nilo De Oliveira Nascimento²,
Matheus Valle de Carvalho e Oliveira³

Recibido: 14/06/2019

Aceptado: 11/07/2019

*Autor de correspondencia

Abstract

In the countries of the Global South, investments in the water and sanitation sector have historically not met the overall needs. The poor are generally the most affected. The creation of funds to support universalization of water supply and sewerage services may represent an important instrument as a sustainable investment strategy. This study displays the features and characteristics of two distinct fund models at the state level in Brazil. It indicates that despite challenges these funds offer opportunities for meeting the main objective of the water and sanitation policy in Brazil, the universalization of service provision. It suggests also that the Brazilian experience might be adapted to other contexts.

Keywords: investment gap; universalization; financing mechanisms.

Resumen

En los países del Sur Global, las inversiones en el sector del agua y el saneamiento no han satisfecho históricamente las necesidades generales. Los pobres son generalmente los más afectados. La creación de fondos para apoyar la universalización de los servicios de abastecimiento de agua y de alcantarillado puede representar un instrumento importante como estrategia de inversión sostenible. En el presente estudio se exponen las características y los rasgos de dos modelos de fondos distintos a nivel estatal en el Brasil. Los resultados muestran que, a pesar de los desafíos, estos fondos ofrecen oportunidades para cumplir el principal objetivo de la política de agua y saneamiento en el Brasil, la universalización de la prestación de servicios. También sugiere que la experiencia brasileña podría adaptarse a otros contextos.

Palabras claves: brecha de inversión; universalización; mecanismos de financiación.

- 1 Department of Hydraulic and Water Resources Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais - School of Engineering. Belo Horizonte, MG. Brazil. vitorcqueiroz@yahoo.com.br
- 2 Department of Hydraulic and Water Resources Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais - School of Engineering. Belo Horizonte, MG. Brazil. hildelano@yahoo.com
- 3 Administrative City President Tancredo Neves - Rodovia João Paulo II, 4001 - General Building 12th floor - Serra Verde - Belo Horizonte, MG. Brazil. matheus.valle@arsae.mg.gov.br

1. INTRODUCTION

Water and sanitation services are characterized by intense immobilization of capital due to the massive infrastructure typically required for their operation (Decker, 2015). In developing countries, investments have been generally insufficient to meet the needs and priority has clearly been given to water supply services and urban areas, affecting especially the poor. Therefore, a great deficit in the universalization of services persists, especially regarding sanitation services and rural areas (Hukka & Katko, 2015; Kumasi, 2018; Queiroz & Nascimento, 2016). Nevertheless, covering the demand for service expansion represents only part of the challenge.

There is also an increasing need for financial resources to replace infrastructure, issue that affects developed countries as well. Therefore, the task of promoting sustainable universalization is enormous.

This scenario suggests the urgency of assessing the problem of financing within new rationales, strategies and approaches (Hukka & Katko, 2015; Cucos et. al, Ruiters & Matji, 2016) (Hukka & Katko, 2015; Ruiters & Matji, 2016). The gap in investment resources needed to meet the goals of universal water and sanitation services, as well as the benefit of these services, has already been the subject of several studies (Hutton 2012; Hutton & Varughese, 2016; OCDE, 2011; OCDE, 2010). However, the discussion on mechanisms to overcome the deficit is still limited (OECD 2011; Ruiters & Matji, 2016), especially with regards to case studies, which is the main contribution of the present study.

This study dresses upon the investment deficit data of the Brazilian National Plan for Basic Sanitation (Plansab) and identifies different financing mechanisms historically employed. However, in light of limitations faced, this paper proposes two fund models to be used as complementary instruments. Included herein is a discussion regarding the concept and nature of the services and their users, as well as decisions to be made by society related to how, where and in what to invest in. This paper argues that establishing funds for the universalization of water and sanitation services represents an important instrument for ensuring sustainable investments, as it was the case of other industries (Brasil, 2011). However, there is limited literature using this approach.

The present study seeks to contribute to a better understanding of the financial challenges of service expansion. Due to the complexity of the institutional panorama of service provision, the present analysis is narrowed down to the Brazilian state of Minas Gerais.

The Water and Sanitation Act (WSA), No 11.445 of 2007, the primary federal law governing the water and sanitation sector and establishes guidelines for, and responsibilities for governments. This law formally foresees the creation of regional and local governmental funds aiming at financing service universalization. Tariff revenues are one of the possible financial sources (BRASIL, 2007).

The WSA introduces the obligation that independent regulatory agents oversee service providers. Because the sector is characterized by a natural monopoly, regulation is supposed to prevent the abuse of economic power and to protect the rights of users.

Therefore, regulatory ruling should cover aspects such deadlines for progressive expansion goals, quality standards, the tariff policy among other aspects (BRASIL, 2007). Two important features of this framework are similar to those found in other countries of the Global South: the centrality of local governments and the presence of autonomous regulatory bodies in charge of calculating tariffs (Berg, 2013)

1.1 Characterization of the investment deficit in Brazil: insufficient trajectory

Public service providers in developing countries often charge less than necessary to cover operation costs, to the detriment of service quality and slow expansion (Gerlach & Franceys, 2010). The tariff, when charged, is often only sufficient to recover the operation and maintenance costs, while expansion, replacement and repair costs, which are more significant, are rarely covered (A/HRC/3039).

Since the late nineties, international discourse has advocated for cost recovery through tariffs together with privatization schemes. Although expansion targets and quality standards were not necessarily met, private operators forced the increase in tariff levels that especially affected the poor and in many cases led to social pressure and even to renationalization of water services. Regardless of the model of service provision, though, there is unused-yet narrow-room for assigning financial resources to both operation costs and service expansion through

tariffs. The case of Brazil is no different. The slow development of the sector indicates that the investment capacity is insufficient. Thus, this paper proposes the concept of investment deficit as the difference between the estimated resources needed

(according to the Plansab) and the existing capacity to invest. To fill this gap, this study proposes and discusses the features of two types of funds. Borja (2014) gathered the most common water and sanitation financial resources in Table 1.

Table 1. Main financing sources of water and sanitation in Brazil

| Type | Source |
|--|--|
| Non-costly resources | General budget – Public grants – Treasure (Union, States, Municipalities and Federal District). |
| Costly resources | Funds managed by the Federal Government (FGTS and FAT/BNDES). |
| Service provider resources | Taxes and tariffs |
| National System Resources of Water Resources | Charge for the use of Water resources |
| Outside loans | Loans from international organizations (BID, BIRD, JBIC, KfW). Partnership with the private sector |
| Private resources/instrument | Real State entrepreneurs. Debentures. Stocks and bonds. Credit Right Funds (FIDC), Real State Investment Funds (FII). |

Source: Borja (2014)

Historically, public budgets have been the most important sources, followed by international organizations. Tariffs have been used as well, even if only partially. Although charges for the use of water resources are very important for funding sewage treatment plants in other countries, such as France (MARETTE et. al., 2006), this instrument has limited use in Brazil. In some Brazilian states, public companies have sold part of their stock in the market, bringing in financial resources from private actors. This was the case of the company of the state of Minas Gerais, which conducted its IPO in 2006. Focusing on Minas Gerais, this paper identifies the investment levels needed to attain universalization and estimates the investment capacity based on the trajectory of all investment sources combined. The difference between them constitutes the investment deficit, to be overcome through new sources in order to achieve universalization. For Minas Gerais, the main financing resources are, in addition to tariffs, government grants and public or private debt. It is important to understand that underneath the choices related to the financing method lays a broader discussion regarding the nature of water sanitation services. For some, it is a strictly commercial relation between providers and users, while for others it is a right. Choices here have a significant influence on the redistributive effect of a public policy (MULAS, 2013).

1.2 New strategies for financing the deficit: Water and sanitation as a right

Different ideas guide the discussions on how to overcome the challenge of sanitation financing, where the principle of cost recovery by the end user via a tariff tends to prevail. In this perspective, there are distinct positions which oscillate between a full cost recovery (WORLD BANK, 2004) and a sustainable cost recovery (OECD, 2009). In the first case all costs should be paid by the users, while in the second part would be covered by other sources, public or private. Furthermore, according to the OCDE (2010) this mechanism would assure future and secure cash flows by the combination of tariffs, taxes and transfers, and the use of such revenues as a basis to attract loans from the private sector. In any case, the problem of affordability to end users must be considered through proper systems of subsidies and tariff structures (OCDE, 2009). However, the higher the tariffs, the harder it is to solve the equation. Nevertheless, access to these services may also be considered a human right (UN Resolution 64/292 of 2010). States have thus immediate and binding obligations to achieve progressively the full realization of the human rights to water and sanitation (A/HRC/3645). Therefore, in addition to the discussion of affordability to the end user, public policies must provide financing mechanisms, such as funds, to realize this right (SULTANA; LOFTUS, 2010).

2. METHODOLOGY

In the state of Minas Gerais, the major service provider is Copasa (Water and Sanitation State Company) and concessions in 586 municipalities (243 for water and sanitation and 343 for water only). Approximately 90% of the urban population in the areas covered by Copasa have access to water and 67% have access to sanitation. Almost 75% of sewage is treated before discharge (Brasil, 2016). The Copasa is regulated by the Arsa (Regulatory Agency for Water and Sanitation), the regulatory body at state level. The state of Minas Gerais is situated in the South-eastern region of Brazil. It has a total area of 586,519 km² (7% of the national territory), a population of 20,869,101 inhabitants (IBGE, 2015) living in 853 municipalities and HDI of 0.731 (Atlas Brasil, 2010). The mining industry is central in the state's economy and the GDP reached US\$ 156 billion

(FJP, 2013). Service provision features in Minas Gerais: 93% of the urban population covered by water supply and 67% by sewage, while 47% of used waters treated before disposal. To cover the investment deficit, this study proposes two distinct funds: (1) Public Fund at state level covering all of Minas Gerais; (2) Regulatory Fund restricted to the municipalities served by the company Copasa. The first case considers a fund supported by state legislation (MINAS GERAIS, 2006); and the second case is a regulatory instrument developed by Arsa, which consists of defining a certain percentage from the service provider's revenue to be used only for purposes agreed upon with the regulator. This is to guarantee the sound application of these resources to accomplish the predetermined goals (ARSAE, 2016). The following figure displays the methodological steps of this study.

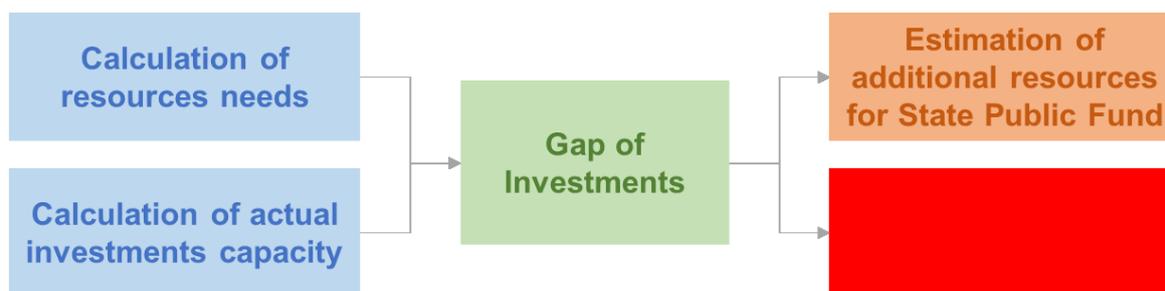


Figure 1. Methodological steps

2.1 Investment deficit calculation

The calculation of the investment deficit was based on the methodology proposed by Queiroz (2016). This study considers three distinct scenarios on which both deficit and investment needs were calculated (2022, 2028, 2033), based on the following premises: the Fund should be sufficient to meet the demand for financial resources; providers already have some capacity to make investments, which is estimated based on historical data. The level of resources needed to meet the demand was estimated as the difference between the resources required and this investment capacity.

2.2 State fund, origin of the resources

Following sources were identified among available ones: revenue installments, interest on the capital of Copasa itself and the State budget. Other sources, such as transfers from the Union and fines issued by the regulator, may be used as well, but were not

considered in this study. Aspects of these three sources are discussed below.

2.3 Revenue installments

The WSA authorizes the creation of funds, to which a portion of the service revenue can be destined. Considering that the tariff defined by the regulator assures financial equilibrium of the service provider, eventual destination of a revenue portion for a fund would have an impact on the tariff level and costs would be passed to users. Estimations were made considering the average revenue of all service providers in Minas Gerais from 2006 to 2013 per municipality (based on information from the National Information System on Sanitation, Brasil, 2016).

2.4 Copasa dividends distribution

As the major shareholder of Copasa, the state receives interests and dividends on capital annually. At present, there is no formal obligation that these resources are used in the water and sanitation sector, so that they are added to the public budget, although

they come from service charges on consumers. The water and sanitation sector is subsidizing other sectors at state level. The potential annual value to be destined to the Fund from this source is estimated as the average value received by the State in the form of interest on net equity, from 2006 to 2014.

2.5 Public budget

Selecting the Public Budget is a matter of social justice. Taxes, which make up the greatest portion of the budget, must serve the distributive function of the State. Excessively binding the public budget can make public administration difficult. Therefore, it is proposed that the participation of the public budget in the fund decreases progressively over time. Percentages that could compose the Fund were calculated based on the average revenue of Minas Gerais State from 2006 to 2014.

2.6 Regulatory fund

WSA establishes the obligation that the regulator edits norms related to technical, economic and social dimensions of service provision (Brasil, 2007). It must define thus, among others, all aspects of the tariff policy. The Regulatory Fund concept used in this study is based on the Specific Destination mechanism as developed by Arsae (2016). In short, it foresees an additional percentage in the tariff to be collected by the service provider and used in compliance with a set of objectives defined by the regulator. These resources must be channeled through a specific bank account and are subject to special monitoring by the regulator. This regulatory mechanism is similar to the general fund concept in several aspects. The Regulatory Fund proposed here is limited to the service provider itself and to its municipalities. This mechanism has already been used by the Arsae in some local providers but not yet

for Copasa. This study proposes a Regulatory Fund for it. The same calculations were made for the Regulatory Fund but applied only to Copasa's market. The financing source of the Regulatory Fund is part of the service provider's revenue or rather the tariff paid by users. Information from 2006 to 2013 was gathered from the from the National Information System for Sanitation to calculate the investment deficit and the average income of the service provider. The division of the deficit by the income provides the necessary increase in the tariff (%) to finance the fund and achieve universalization. For greater simplicity the present study disregarded the effect that additional taxation has on the analysis.

3. RESULTS

Table 2 shows the investment deficit (the difference between the investment requirements and the investment capacity). The results show a deficit of 615 million dollars per year in the case in which the universalization goal is set for the year 2022. In this scenario, state investments would have to double to achieve the goal. The deficit diminishes to 330 million by year 2028 and to 251 million by 2033. These quantities still represent a significant increase in investment compared to the current capacity. One relevant aspect is the deficit proportion of water and sanitation in relation to the total: where in 2022 the participation of water is approximately 20%, it goes up to 25% in 2028 and reaches 33% in 2033. This again illustrates the aging of the water infrastructure and the need for its replacement. Figure 1 shows the relationship between the total deficit and the system needs by service. To achieve the universalization of sanitation services in 2028 and 2033, annual investments would have to increase by 61% and 47%, respectively.

Table 2. Total and annual investment deficit (x 1,000,000 US\$)

| | 2022 | | 2028 | | 2033 | |
|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | Total | Annual | Total | Annual | Total | Annual |
| Water supply | 1,001 | 125 | 1,177 | 84 | 1,534 | 81 |
| Sewerage | 3,919 | 490 | 3,446 | 246 | 3,233 | 170 |
| Total | 4,919 | 615 | 4,623 | 330 | 4,768 | 251 |

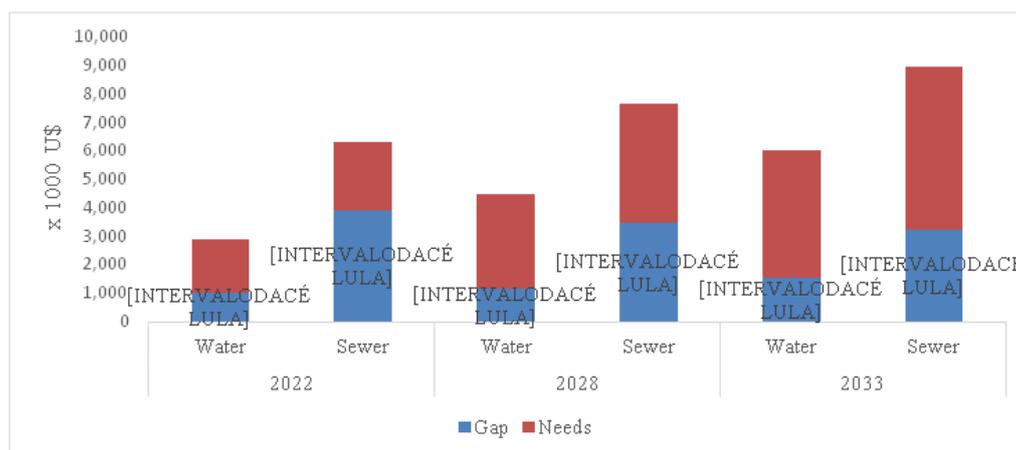


Figure 2. Relationship between deficit and investment needs by service

3.1 Revenue installments

If the revenue installments are the only source of funding, the revenue percentages should correspond to 40%, 22% and 16% for the universalization goals of 2022, 2028 and 2033, respectively. Affordability concerns would be greater in this scenario; therefore 5% was defined as the maximum percentage from the revenue installments to compose the fund, although insufficient to meet the existing deficit. It is important to note that some municipalities still do not charge for water and sanitation services. This fact increases the potential for revenues due to increased coverage, and consequently increased revenue fractions to compose the fund.

3.2 Interest on net equity

Copasa distributes dividends to its shareholders as interest on net equity. Therefore, it is proposed that 100% of the value distributed to the State as the major shareholder be passed on to the Fund. To evaluate the potential of this contribution, an average of values distributed from 2006 to 2014 was considered, amounting to 24.8 million dollars per year, which represents about 10% of the annual deficit for the universalization goal of 2033. The interest on net equity is also insufficient when considered the only source of financing. The interest on net equity tends to increase as both coverage and investments grow.

3.3 State budget

Based on the revenue history from 2006 to 2014, a maximum percentage of 1.25% was stipulated in the simulations carried out to compose the fund. Different percentages for transfer to the Fund (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1.00% and 1.25%) were applied to the average revenue. For 0.25% and 0.50%, the values

represent less than 30% of the deficit for the goal of 2033. The value of 0.75% is close to half, and 1.25% represents 70% of the deficit.

3.4 Fund composition proposal

As observed in the previous topic, none of the selected sources, in reasonable percentages and by themselves, are able to meet the existing deficit for the proposed universalization goals. Because of this, three different scenarios were simulated considering the three financing sources, with variation in the growth of revenue and interest on net equity distributed to shareholders

- Hypothesis 1 (H1): does not consider growth in revenue nor that of interests on net equity;
- Hypothesis 2 (H2): considers a 10% growth in interest on net equity among the scenarios; and
- Hypothesis 3 (H3): considers a 15% growth of revenue and interests on net equity among the scenarios.

Revenue percentages (RP) of 1%, 2% and 5% and state budget (SB) percentages of 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% and 1.25% were considered to compose the Fund. In six simulated combinations, the values met the deficit for the goal of 2033, as shown in Figure 2. In Hypothesis 1, with only the revenue installment of 5% and 1.25% of the State budget it is possible to meet the deficit. In Hypothesis 2, for the revenue installment of 5%, only 1% of the State budget would meet the deficit. Finally, in addition to the possibilities of Hypothesis 2, in Hypothesis 3 a revenue installment of 2% and 1.25% of the State budget also meet the deficit. The simulated compositions show that in none of the combinations

was it possible to achieve universalization by 2022 and 2028. Another important aspect is the weight of

the state budget for universalization of services: it represents 55% to 70% of the fund value.

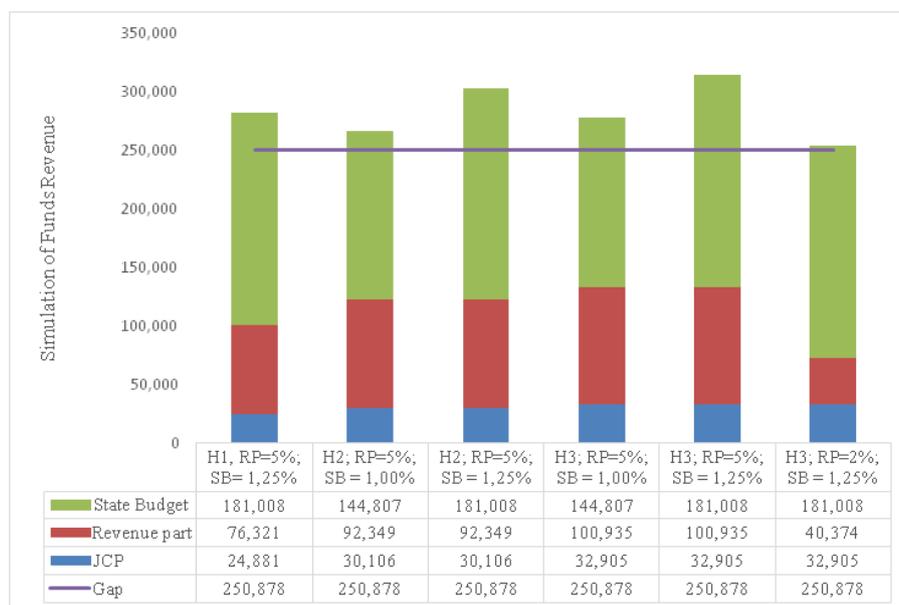


Figure 3. Fund composition

4. REGULATORY FUND

4.1 Investments deficit

Table 3 shows the investment deficit for the different horizons, per year and total in the municipalities serviced by Copasa. The total deficit for the different

objectives consists of 2.19 billion, 1.65 billion and 1.1 billion dollars, respectively, for 2022, 2028 and 2033. The deficit shows a downward tendency for the Copasa systems over the horizons, while for the municipalities without sewage service an upward trend is observed.

Table 3. Copasa investment deficit (millions of US\$)

| | 2022 | | 2028 | | 2033 | |
|-------------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | Total | Annual | Total | Annual | Total | Annual |
| Water | 620 | 78 | 671 | 8 | 680 | 38 |
| Sewage | 1.573 | 197 | 981 | 70 | 450 | 25 |
| No sewage service | 952 | 119 | 1.022 | 73 | 1.075 | 60 |
| Total | 3.145 | 393 | 2.674 | 191 | 2.205 | 122 |

A total of 393 million dollars are needed annually to reach the universalization goal by 2022, which would practically double the investment demand in relation to the calculated capacity. For the 2028 objective, the annual deficit is approximately 118 million dollars, or 191 million in the case that the sewage systems assumption is considered. For 2033, the annual deficit is 122 million dollars, given that almost half of this value is relative to municipalities without

sewerage service. The proportional demand of municipalities without service goes up from 30% in 2022 to 50% in 2033.

4.2 Financing

Table 4 shows the revenue increase required to meet the deficits identified in the previous topic. Considering the current market, the percentages vary from 22% in 2022 to 5% in 2033. In the case that the

company obtains more concessions, the increases needed to finance the regulatory fund would be 32% for 2022 and 10% for 2033. These are very significant fractions for meeting the deficit only by

the regulatory fund. However, the concessionaire revenue would increase due to the charged sanitation services in these municipalities.

Table 4. Necessary revenue percentage for universalization of the different services

| | 2022 | | 2028 | | 2033 | |
|-----------------------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| | Gap | % Revenue | Gap | % Revenue | Gap | % Revenue |
| Current Concessions | 274 | 22.73 | 118 | 9.79 | 63 | 5.21 |
| Assuming sewage concessions | 393 | 32.60 | 191 | 15.84 | 122 | 10.16 |

5. CONCLUSION

The funds discussed here are a variation of the typology proposed by Borja (2014), since they would be non-profit funds seeking the universalization of sanitation services and be based on the human rights to water and sanitation. The results indicate an enormous challenge for the universalization of both services, each one displaying its own challenges. Regarding sanitation, expansion is still the main action to be developed considering the enormous access deficit. Regarding water supply, the need for replacement of the existing infrastructure will grow over time. Two aspects of the Brazilian scenario of past years have a direct impact on the calculated estimates of this study, which are water shortage and economic situation. The water shortage context experienced by the country in the past 5 years, especially in the South-eastern region, can influence the demand as well as estimated capacities. On the necessity side, the possibility of longer or more frequent repetitions of these phenomena in the hydrological cycle reinforces the importance to increase water security, which would require even more investments in infrastructure for water supply and in actions to maintain and recover water sources. Regarding capacity, the need to reduce water consumption diminishes the revenue of the service providers, further restricting the availability of tariff resources for investment. The current economic situation tends to cause a decrease in resources available from the public budget, affecting the investment capacity. All the aspects approached show a scenario of increased investment gap. However, regardless of the crises being temporary or not, the current context reinforces the importance of broadening the financing mechanisms for the sector, such as the institution of the funds as presented

herein. A State Fund would allow, in theory, the universalization of water and sanitation in Minas Gerais. Therefore, it appears to be a fairer alternative. However, such a Fund would face several challenges for its implementation. In the context of budget difficulties, it is a common practice to use fund resources to guarantee fiscal balance. An alternative to the Sanitation State Fund is the possibility of instituting an internal regulatory fund for the regional service provider, which in the case of the Brazilian state of Minas Gerais, is Copasa. At first glance its smaller coverage would limit universalization to the sole areas covered by the provider. However, the Regulatory Fund has a broader implementation process and a more simplified administration than the State Fund. Furthermore, its main characteristic is a smaller risk of improper resource use, since the regulator, through tariff mechanisms, can correct eventual deviations from the original objective.

In conclusion, answers to the question of how to finance the provision of water and sanitation services to the poor are of political nature and are context sensitive. In the present study it was possible to delineate two proposals for financing funds at state level in Brazil. Although each one presents challenges and peculiarities, they have both the potential to act as effective and feasible instruments for achieving universalization in other Brazilian states and other countries as well. Knowing that there is no fit-for-all recipe, service providers, regulators, public entities and other stakeholders must be aware of their particular economic, social, institutional and cultural setting and dare to be creative. Thinking and acting out-of-the-box is necessary to change the deficit curb, foster service expansion and induce faster and sustained development.

REFERENCES

- Albuquerque, C. (2015). Prefácio. In: Castro, J. E., Morais, M. P. & Heller, L. O direito à água como política pública: uma explicação teórica e empírica. Brasília: IPEA, Fiocruz. 322 p.
- Arsae-MG (2016). Detalhamento do cálculo da revisão tarifária periódica de 2016 da Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora – Cesama. Belo Horizonte: ARSAE-MG, 2016. 74 p. (Nota Técnica CRFEF 01/2016).
- Atlas Nacional do Brasil Milton Santos. (2010). Rio de Janeiro: IBGE, 307 p.
- Berg, S.V. (2013). Best practices in Regulating State-Owned and Municipal Water Utilities. Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). Santiago, Chile: United Nations.
- Borja, P. C. (2014). Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. *Saúde Soc.*, São Paulo, 23 (2): 432-447.
- Brasil (2007). Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política nacional de saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, DF.
- Brasil (2011). Universalização de acesso e uso da energia elétrica no meio rural brasileiro: lições do Programa Luz para Todos/IICA – Brasil: IICA, 92 p.
- Brasil (2016). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 212 p.
- Branco, M. & Henriques, P. D. S. (2010). The political economy of the human right to water. *Review of Radical Political Economics*, 42 (2):142-155.
- Brun, A. & Lasserre, F. (Dir.) (2006). *Politiques de l'eau :réalités locales et grands principes*. Montréal: Presses de l'Université du Québec, 480 p.
- Bywater, K. (2012). Anti-privatization struggles and the right to water in India: engendering cultures of opposition. In: Sultana, F., Loftus, A. (Ed.) *The right to water: politics, governance and social struggles*. New York: Earthscan, pp. 206-222.
- Decker, C. (2015). *Modern economic regulation: an introduction to theory and practice*. 1. Cambridge: Cambridge Press.
- Farhana, S. & Loftus, A. (2015). The human right to water: critics and condition of possibility. *WIREs Water*, 2: 97-115. doi: 10.1002/wat2.1067.
- Fundação João Pinheiro. (2013). Produto interno bruto de Minas Gerais. Relatório anual 2010-2013. Nova série – Metodologia SNA/2008.
- Gerlach, E. & Franceys, R. (2010) *Regulating Water Services for All in Developing Economies*. *World Development* (2010) 38 (9) 1229-1240
- Hukka, J.J. & Katko, T.S. (2015). Appropriate Pricing Policy Needed Worldwide for Improving Water Services Infrastructure. *Journal American Water Works Association*
- Hutton, G. (2012) *Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage*. (= WHO/HSE/WSH, 1/12). Geneva: World Health Organization.
- Hutton, G. & Varughese M (2016). *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*. WSP/World Bank: Technical Paper.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Estimativa populacional para os municípios e para a unidades da federação brasileira em 01.07.2015. Rio de Janeiro: IBGE.
- Kumasi, T.C. (2018) Financing Sustainable Water Service Delivery of Small Town Water Systems in Ghana: The Gaps and Needs. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. Volume 6, Issue 3, pp 427-445.
- Marette, S., Plavinet, J.-P. & Crespi, J. M. (2006). La politique communautaire dans le domaine de l'eau et l'application du principe pollueur payeur en France. In. *Politiques de l'eau : réalités locales et grands principes* (Dir.) Alexandre Brun et Frédéric Lasserre. Montreal: Presses de l'Université du Québec, pp.91-108.
- Minas Gerais. (2006). Lei complementar no 91, de 19/01/2006. Dispõe sobre a instituição, gestão e extinção de fundos estaduais. Belo Horizonte: Diário do Executivo.
- Mulas, A. S. (2013). Análise de políticas públicas de saneamento: aspectos orçamentários e gerenciais. In: Heller, L., Castro, J. E. (Ed.). *Políticas públicas e gestão de serviços de saneamento*. Edição ampliada, Belo Horizonte: UFMG; Rio de Janeiro: Fiocruz. Cap. 3, pp98-115
- OECD (2009). *Managing water for all: an OCDE perspective on pricing and financing*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2010). *Innovative financing mechanisms for the water sector*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2011). *Meeting the challenge of financing water and sanitation: Tools and approaches*. Paris: OECD Publishing.
- PEIXOTO, J. B. (2013). Aspectos da gestão econômico-financeira dos serviços de saneamento básico no Brasil. In: Heller, L.; Castro, J. E. (Ed.). *Políticas públicas e gestão de serviços de saneamento*. Edição ampliada, Belo Horizonte: UFMG; Rio de Janeiro: Fiocruz. Cap. 24: 502-524.
- Queiroz, V.C. & Nascimento, N.O. (2016) Evaluation of sanitation investments gap in the state of Minas Gerais. *REGA*, Volume 13 n° 2.
- Ruiters, C. & Matji, M.P. (2016) Public-private partnership conceptual framework and models for the funding and financing of water services infrastructure in municipalities from selected provinces in South Africa. *Water SA* Vol. 42 No. 2 April 2016.
- United Nations General Assembly. Resolution 64/292. The human right to water and sanitation. Index A/RES/64/292, 28 July 2010.
- United Nations General Assembly. Report 30/39. Report of the Special Rapporteur on the human right to safe drinking water and sanitation. Index A/HRC/30/39, 5 August 2015.
- Verónica, P. (2012). From Cochabamba to Colombia: travelling repertoires in Latin American water struggles. In. Sultana, F., Loftus, A. (Ed.) *The right to water: politics, governance and social struggles*. New York: Earthscan, pp 241-256.
- World Bank (2004). *Water resources sector strategy: strategic directions for World Bank engagement*. Washington, DC.

Como citar este artículo:

Carvalho, V., de Oliveira, N., Valle de Carvalho, M. (2020). Financing water and sanitation services: two types of funds for facing investment challenges in Brazil. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 22-31. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Evaluación técnica y económica de la función de los bosques y los pilotes de madera en la reducción del riesgo aluvional en la microcuenca peri-urbana abastecedora de agua potable del Estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Aysén, Chile.

Technical and economic evaluation of the role of forests and wooden piles in reducing alluvial risk in the peri-urban micro-basin supplying drinking water to Estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Aysén, Chile

Wilfredo Alfaro^{1*}, Constanza D'Apollonio², José Bobadilla³, César León³,
Juan Cisternas², Felipe Davison², Marco Cayuk², Francisco Navarro²

Recibido: 16/04/2019

Aceptado: 19/09/2019

*Autor de correspondencia

Resumen

La sistematización de estudios sobre la valoración económica de servicios ambientales en terrenos forestales, permite valorar el servicio eco-sistémico de estabilización de taludes provisto por los bosques. Esta acción reduce el riesgo de aluviones o corrientes de detritos en áreas urbanas. Es necesario promover la influencia, la valoración económica de la producción maderera, el valor de la biodiversidad, la captura de carbono, el control de erosión y la reducción de caudales de crecidas. Se presenta una reseña de campo sobre el uso de pilotes de madera para la estabilización de taludes, como una alternativa efectiva con enfoque forestal apropiado para abordar emergencias generadas por procesos de remoción en masa en terrenos forestales. Se aplica a la región de Aysén, Chile. Los resultados muestran que los valores de resistencia al corte del sistema de raíces supera largamente a la proyección normal del peso de los árboles en los taludes y laderas. La restauración forestal mediante el establecimiento de bosques en áreas incendiadas y otras formas de alteración que inducen procesos de remoción en masa del suelo microcuencas periurbanas abastecedoras de agua potable es una medida efectiva a adoptar.

Palabras clave: Procesos de remoción en masa, bosques, pilotes (pali radice), microcuenca peri-urbana, abastecimiento agua potable, Mañihuales, Aysén.

Abstract

The systematization of studies on the economic valuation of environmental services in forest lands, allows to value the eco-systemic service of stabilization of slopes provided by the forests. This action reduces the risk of alluvium or debris flows in urban areas. It is necessary to promote the influence, economic valuation of timber production, the value of biodiversity, carbon sequestration, erosion control and flood flow reduction. A field review is presented on the use of wood piles for slope stabilization, as an effective alternative with appropriate forestry approach to address emergencies generated by mass removal processes in forest lands. It is applied to the Aysén Region, Chile. The results show that the cutting resistance values of the root system far exceed the normal projection of the weight of the trees on the slopes. Forest restoration through the establishment of forests in burned areas and other forms of alteration that induce mass soil removal processes in peri-urban micro-basins supplying drinking water is an effective measure to be adopted.

Keywords: Mass removal processes, forests, piles (pali radice), peri-urban micro-basin, drinking water supply, Mañihuales, Aysén.

- 1 Corporación Nacional Forestal (CONAF). Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF). Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA). Santiago de Chile. wilfredo.alfaro@conaf.cl
- 2 CONAF. Oficina Provincial Aysén. Área Mañihuales. Camino Aysén-Coyhaique. Puerto Aysén. Chile. c.dapollonio@gmail.com, juan.cisterna@conaf.cl, davinson.felipe@gmail.com, cayul.navarrete@gmail.com, navarrorivas@gmail.com
- 3 CONAF. Oficina Regional Aysén. Coyhaique. Región de Aysén. Chile. andres.bobadilla@conaf.cl, cesar.leon@conaf.cl

ANTECEDENTES

Los resultados que se resumen en el presente artículo son parte integrante del estudio “Plan de trabajo inmediato para la estabilización de taludes colapsados durante mega-deslizamiento en la cuenca abastecedora de agua potable, Estero Las Lavanderas, Provincia de Aysén”.

El área de estudio se ubica en Predio Forestal Mañihuales inserto en la ciudad de Villa Mañihuales, Región, Provincia y Comuna de Aysén. El área de estudio corresponde a plantación de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, de 54 a 60 años de edad, en estado fustal alto, en el límite de la rotación. La superficie del rodal es de 27 ha y su objetivo es la regulación del régimen hídrico y la estabilización de laderas en la garganta de la microcuenca hidrográfica del Estero Las Lavanderas.

El área de trabajo para el control de los procesos de remoción en masa del suelo se ubica a 500 metros del área urbana de Villa Mañihuales, y corresponde a los pies de talud en un área de 1.2 ha sobre laderas de pendiente abrupta que descargan directamente sobre el cauce en la garganta del Estero Las Lavanderas, el cual atraviesa la ciudad hasta su confluencia con el Río Ñirehuao.

La estructura de suelos del área de estudio corresponde a un estrato de ceniza volcánica sobre material de depósito fluvial con fundación en un substrato arcilloso de origen glacial de gran potencia. Este substrato arcilloso corresponde a roca sedimentaria del tipo arcillolita, normalmente bien hidratada, que por efecto del cambio climático, sus propiedades físico-mecánicas han cambiado significativamente y presenta un nivel extremo de degradación en superficie por efecto de la desecación.

Además, en sentido oriente-poniente, paralelo al cauce discurre un alineamiento geológico a lo largo de toda la microcuenca hidrográfica del estero, en torno al cual se suceden secuencialmente los pies de taludes de todo un sistema de remociones en masa que se han verificado en la microcuenca desde tiempos históricos.

Villa Mañihuales fue destruida por una corriente de detritos en 1966 generada por eventos extremos de precipitación y la desestabilización de laderas *post* severo incendio forestal en la garganta de la microcuenca que eliminó la cubierta de bosque. Existe evidencia que el colapso de los taludes en la

garganta de la microcuenca pudo haber generado un represamiento temporal del cauce y su posterior colapso pudo haber provocado una ola de crecida que destruyó parte importante de la ciudad. Durante los años 2013 a 2017 se han acelerado procesos de remoción en masa en la garganta de la microcuenca.

Así, durante 2013 y en junio y julio de 2017 ocurrieron grandes remociones en masa del suelo a consecuencias de eventos hidro-meteorológicos extremos, en sectores en que se afectó la cobertura del bosque actual. Los deslizamientos de suelo afectaron levemente la infraestructura local de camino y tubería de aducción del agua potable, y cuya estabilización es prioridad para el Gobierno Regional.

A fin de estabilizar el área afectada por los recientes deslizamientos de suelo y reducir el riesgo de aluviones sobre la ciudad de Villa Mañihuales, se diseñó como medida de emergencia un sistema de estabilización de taludes con base en el hincado de pilotes de madera en el margen de la zona de deslizamiento y concentrados en la zona de depósito o asentamiento y la zona de flujo del deslizamiento. El diseño e implementación contempló además la construcción de drenajes, alcantarillas, instalación de empalizadas, diques-peineta y forestación con especies forestales nativas y especies forestales introducidas de alto valor y eficiencia para la estabilización de taludes.

El diseño consideró la dinámica de los procesos de remoción en masa en el área de estudio, las condiciones geotécnicas del substrato, las sollicitaciones mecánicas calculadas, así como la selección de la maquinaria a utilizar, la preparación del terreno para el hincado y los dispositivos de protección de los pilotes. En el período mayo a junio 2018 se instaló un total de 75 pilotes de madera local de *Larix decidua* y *Pseudotsuga menziesii* de 6 a 8 m de largo, con diámetros en punta de 0.25 a 0.3 m. Se determinó la resistencia al corte de los pilotes de madera considerando dimensiones de la sección y la resistencia al corte para las especies forestales publicada por INFOR (2010).

Las evidencias se muestran de las figuras 1 a 8.

La metodología utilizada para determinar la resistencia al corte de los pilotes utilizados para estabilizar el área de asentamiento y flujo del deslizamiento, se basó en el siguiente modelo:

DESARROLLO

$$RCPm = AMP * RCm \quad (1)$$

donde

RCPm Resistencia al corte en punta de la sección de los pilotes de madera.

AMP Sección media de pilotes en punta (mm^2) para distintos diámetros de troza indicados en centímetros como sub-índices

$$AMP_{25} = 49.088 \text{ mm}^2$$

$$AMP_{27,5} = 59.396 \text{ mm}^2$$

$$AMP_{30} = 70.686 \text{ mm}^2$$

RCm = Resistencia al corte de la madera ($N \text{ mm}^{-2}$) según tabla 1 (INFOR, 2010).

Por otra parte, la metodología utilizada para determinar la resistencia al corte de las raíces se fundamentó en el siguiente modelo:

$$RCR = AMR_p * RC_m \quad (2)$$

donde

RCR = Resistencia al corte del sistema de raíces ($kN \text{ ha}^{-1}$)

AMR_p = Sección media de raíces a profundidad “p” (mm^2)

RC_m = Resistencia al corte de la madera ($kN \text{ mm}^{-2}$)

La resistencia al corte de la madera para los más probables solicitaciones se estimó a partir de los datos de INFOR (2010) para ensayos de tracción

perpendicular y cizalle paralelo en la especie *Pseudotsuga mensiezii* los que se resumen en tabla 1.



Figura 1. Vista de Villa Mañihuales y sector de descarga del Estero Las Lavanderas en el Río Ñirehuao



Figura 2. Vista general del emplazamiento de Villa Mañihuales y el área de remoción en masa del suelo (Fuente: Google, 2018)



Figura 3. Remoción en masa año 2017. Foto: César León. 2017

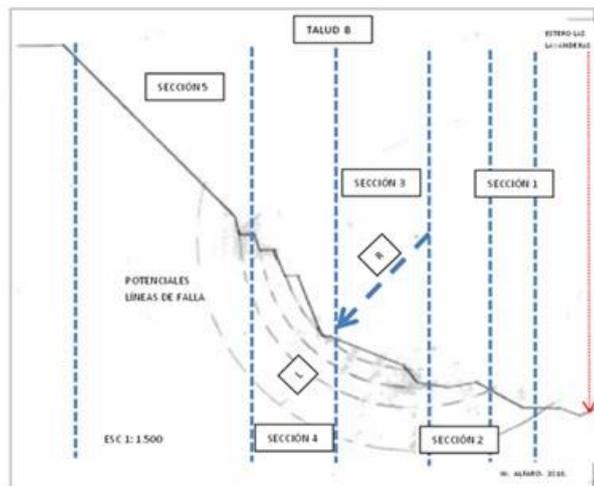


Figura 4. Perfil del talud B, altura 65 metros a la primera terraza en la cabecera del talud.



Figura 5. Perfil del sustrato. Foto: W. Alfaro. 2017.

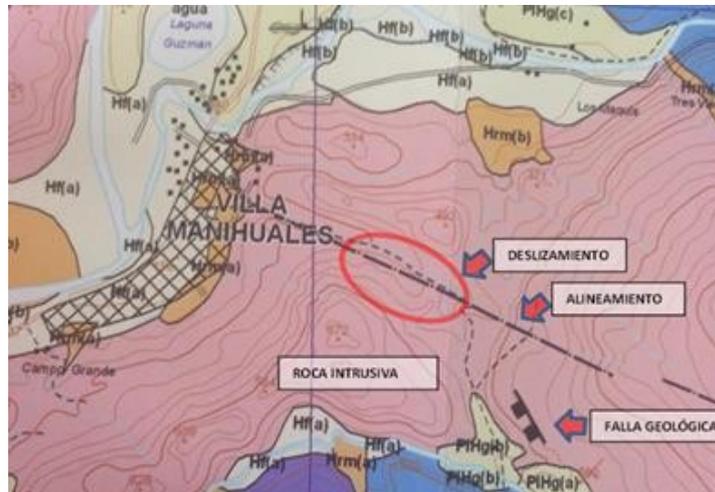


Figura 6. Mapa geológico Estero Las Lavanderas. Fuente: SERNAGEOMIN, 2012.



Figura 7. Pali Radice: función de anclaje y estabilización de taludes de los bosques en áreas de riesgo crítico de deslizamiento de suelos de la microcuenca peri-urbana del Estero Las Lavanderas. Foto W. Alfaro, 2018.



Figura 8. Pilotes de madera de *Larix decidua* con protección de la punta. Foto W. Alfaro, 2017.

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas de la especie forestal *Pseudotsuga mensiezii*. Fuente INFOR, 2010.

| Ensayo | Parámetro | Seco (12%) | Verde |
|---|------------|------------|-------|
| Tracción Perpendicular (N mm ⁻²) | Radial | 1.18 | 1.47 |
| | Tangencial | 1.76 | 1.76 |
| Cizalle Paralelo (N mm ⁻²) | Radial | 8.33 | 5.68 |
| | Tangencial | 7.84 | 5.88 |

Así, se determinó una resistencia al corte de los pilotes de madera en kilo-Newton (kN) de 349.2 kN (57.9-494.8 kN). Estos valores se compararon con la resistencia al corte de pernos de anclaje de acero cuyo rango de resistencia al corte es (155-2,030 kN). La protección de los pilotes considera enzunchado de cabezal y a un tercio de la altura del pilote y refuerzo metálico de la punta. El hincado mecánico corresponde al tipo impacto por gravedad de martinete de 400 kg e hincado con brazo mecánico de excavadora. El costo total de la maquinaria utilizada para el hincado de los pilotes se estimó del orden de los USD 33,300. El uso de pilotes de madera para la estabilización se complementó con el diseño de

perfilado de taludes, drenajes, canales de evacuación, revestimientos, disipadores, empalizadas, estructuras gavionadas, muros de concreto con doble malla y pernos de anclaje. La hipótesis planteada para la evaluación ingenieril de la eficiencia de los pilotes de madera para la estabilización de taludes por comparación con resistencia al corte de pilotes de acero del modelo TITAN 20/16, el tipo de micropilotes más factible de instalar en la Región de Aysén, se expresa de la siguiente manera. Los resultados obtenidos para la evaluación del desempeño mecánico de los pilotes de madera en comparación con micro-pilotes de acero se presentan en la tabla 2.

Hipótesis Nula H0: $RCPm = AMP * RCm \approx RCPa$

Hipótesis Alternativa Ha: $RCPm = AMP * RCm \ll RCPa$

donde

$RCPm$ = Resistencia al corte de pilotes de madera en trozas (kN)= 465 kN (57 kN-588 kN)

$RCPa$ = Resistencia al corte de pilotes de acero TITAN 30/16 (kN) = 465 kN (155 kN-1,800 kN)

$RCPa$ = Resistencia al corte de pilotes de acero TITAN 40/16 (kN) = 465 kN (465 kN-1,800 kN)

Tabla 2. Resultados del cálculo de la resistencia al corte de los pilotes de madera a diferentes diámetros en punta (0.25 a 0.3 m)

| Ensayo | Cizalle | Resistencia al corte madera seca (n mm ⁻²) | Sección media de pilotes de 0.25 m de diámetro (mm ⁻²) | Sección media de pilotes de 0.25 m de diámetro (mm ⁻²) | Sección media de pilotes de 0.25 m de diámetro (mm ⁻²) | Resistencia al corte pilotes de madera en troza de 0.25 m de diámetro (n) | Resistencia al corte pilotes de madera en troza de 0.275 m de diámetro (n) | Resistencia al corte pilotes de madera en troza de 0.3 m de diámetro (n) |
|----------|------------|--|--|--|--|---|--|--|
| Cizalle | Radial | 8.33 | 49,088 | 59,396 | 70,686 | 408,899 | 494,768 | 588,814 |
| | Tangencial | 7.84 | 49,088 | 59,396 | 70,686 | 384,846 | 465,664 | 554,178 |
| Tracción | Radial | 1.18 | 49,088 | 59,396 | 70,686 | 57,923 | 70,087 | 83,409 |
| | Tangencial | 1.76 | 49,088 | 59,396 | 70,686 | 86,394 | 104,537 | 124,407 |

A fin de establecer una comparación entre el rendimiento mecánico de los pilotes de madera respecto de los pernos de anclaje o micro-pilotes de

acero, se preparó la tabla 3 que resume las características técnicas de los micro-pilotes disponibles en el mercado.



Figura 9. Hincado de pilotes en el área de flujo del deslizamiento. Foto W. Alfaro, 2018

Tabla 3. Valores referenciales de resistencia al corte de pilotes de acero. Fuente: Ischebeck, 2012.

| Designación | Unidad | Tipo de Pilote | | | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| | | TITAN 30/16 | TITAN 30/21 | TITAN 40/16 | TITAN 52/26 | TITAN 73/56 | TITAN 103/78 | TITAN 127/103 |
| Diámetro | mm | 30 | 30 | 40 | 52 | 73 | 103 | 127 |
| Sección | mm ² | 340 | 415 | 900 | 1.250 | 1.360 | 3.140 | 3.475 |
| Carga de Ruptura | kN | 245 | 320 | 660 | 925 | 1.035 | 2.270 | 2.320 |
| Resistencia al Corte | kN | 155 | 225 | 465 | 620 | 695 | 1.550 | 1.800 |

Los resultados permiten confirmar la hipótesis nula (H0) para la comparación de los pilotes de madera en troza con los pernos de anclaje de resistencia al corte promedio en todo el rango de micro-pilotes de acero disponibles en el mercado. La hipótesis alternativa (Ha) sería válida solo para los dos rangos mayores de resistencia de micro-pilotes de acero. Sin embargo, la comparación con micro-pilotes de acero muy alto

rango no tiene lógica por el alto costo y dificultades técnicas, especialmente el despliegue de maquinaria para establecer este tipo de pernos de anclaje en terrenos forestales.

Por otra parte, cabe señalar que el servicio ecosistémico de soporte para la estabilización de taludes en terrenos forestales provisto por todo tipo de bosques para el bienestar humano tiene escasa

valoración social. Esta escasa valoración se debe principalmente a que este servicio eco-sistémico no tiene valor de mercado y a la fecha no se han desarrollado métodos cuantitativos para determinar un valor de referencia. El presente documento

synetiza también un esquema de valoración económica de este servicio eco-sistémico provisto por los bosques para la estabilización de taludes, reduciendo así el riesgo de aluviones o corrientes de detritos sobre zona urbana en el área de influencia.



Figura 10. Análisis de la distribución de raíces en Talud 0 del área de deslizamiento. Foto W. Alfaro, 2018.

La metodología de valoración de dicho servicio eco-sistémico consideró el enfoque de costo de reposición. La valoración económica se basó en la resistencia al corte del sistema de raíces como variable física de referencia, estimando un valor total de la resistencia al corte provista por el sistema radicular de los árboles por unidad de superficie. A continuación se resume el modelo econométrico

utilizado para estimar el valor económico del servicio ambiental de anclaje de taludes inestables que cumplen los bosques. La ecuación (2) es un caso especial según Pearce y Turner (1990).

$$N - N' = E \quad (1)$$

$$N \rightarrow N' = E \quad (2)$$

donde

N es el valor del servicio ambiental provisto por el bosque

N' es el valor del servicio ambiental provisto por sustituto artificial como pernos de anclaje o micro-pilotes de acero.

E es el gasto de prevención, mantención o reposición del servicio ambiental

La hipótesis es que dichos gastos corresponden a un valor a lo menos igual al valor del bien o servicio ambiental afectado, ya que de otro modo no tendría sentido económico su reposición. Este enfoque de valoración se aplica ex-post y no evalúa disposición a pagar de los agentes económicos. El caso especial de los proyectos-sombra propuestos por Pearce y Turner (1990) considera los gastos adicionales para reponer, mantener o restaurar servicios ambientales utilizando

un sustituto artificial, que es el caso de la presente evaluación. Así, se estimó el valor de dicho servicio eco-sistémico correspondiente al costo de establecer una resistencia al corte del suelo equivalente mediante la instalación de un dispositivo mecánico como micro-pilotes de acero o pernos de anclaje.

A fin de establecer una comparación entre la resistencia al corte para la estabilización de taludes

provista por el bosque respecto a la resistencia al corte provisto por pernos de anclaje de acero, se usó la siguiente tabla 3 que describe las características de los principales tipos de pernos de anclaje disponibles en el mercado.

En una primera aproximación, se estimó de manera indicativa la distribución de la sección total de raíces a profundidades espaciadas a un metro hasta los siete metros. La mayor sección de raíces se encuentra en el primer metro de profundidad, disminuyendo en forma exponencial hasta los siete metros aproximadamente. Se determinó una sección representativa de la distribución de raíces promedio a tres metros de profundidad de 36,079,313 mm² por hectárea.

Asimismo, considerando los antecedentes de INFOR (2010) sobre resistencia al corte de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, especie dominante en el área de estudio, se estimó una resistencia total al corte 36,080 kilo Newton (kN) ha⁻¹ (7,200 kN – 51,100 kN ha⁻¹).

Para efecto de la evaluación económica, se estimó una resistencia al corte por perno de anclaje de 155 kN (155 kN – 2,030 kN). Así, para proveer el servicio de estabilización de taludes provisto por el

bosque, se requeriría un total de 233 (47-330) pernos de anclaje por hectárea.

El costo de adquisición e instalación de los pernos de anclaje es de CLP 581,494 (Portal ONDAC, 2018), considerando la doble malla de acero y un volumen mínimo de 1 m³ de concreto para generar el corte de suelo auto-soportante y estable que requiere la instalación de micro-pilotes o pernos de anclaje, incluidos costos de transporte e instalación en Aysén, una región de difícil acceso. En base a estas mínimas consideraciones y un criterio conservador en la estimación, se aproximó el costo de instalación de pernos de anclaje a USD 1,000 por unidad.

Los resultados obtenidos para la valoración económica del servicio ecosistémico provisto por los bosques de anclaje y estabilización de taludes para el bienestar de la población en la cuenca periurbana de la ciudad a Villa Mañihuales del Estero Las Lavanderas, bajo alto riesgo de aluviones por procesos de remoción en masa del suelo, se presentan en la tabla 4. Así el Valor Actualizado Neto (VAN) para el servicio eco-sistémico de estabilización y anclaje de taludes provisto por los bosques sería de USD 233,000 (USD 47,000-USD 330,000) por hectárea.

Tabla 4. Resultados del cálculo de la valoración económica en USD\$ por hectárea, del servicio ecosistémico de anclaje y estabilización de taludes en la microcuenca periurbana del Estero Las Lavanderas provisto por los bosques para la seguridad de la población de Villa Mañihuales ante el riesgo de aluviones causados por procesos de remoción en masa en la cuenca.

| Ensayo | Cizalle | | Tracción | |
|--|------------|------------|-----------|------------|
| | Radial | Tangencial | Radial | Tangencial |
| Resistencia al corte madera seca (n mm ⁻²) | 8.33 | 7.84 | 1.18 | 1.76 |
| Resistencia al corte madera verde (n mm ⁻²) | 8.33 | 7.84 | 1.18 | 1.76 |
| Sección media de raíces (mm ² m ⁻²) | 613.6 | 613.6 | 613.6 | 613.6 |
| Sección media de raíces (mm ² ha ⁻¹) | 6,135,937 | 6,135,937 | 6,135,937 | 6,135,937 |
| Total resistencia al corte madera seca (n ha ⁻¹) | 51,112,359 | 48,105,750 | 7,240,406 | 10,799,250 |
| Total resistencia al corte madera verde (n ha ⁻¹) | 34,852,125 | 36,079,313 | 9,019,828 | 10,799,250 |
| Pilotes de acero equivalentes madera seca (n° ha ⁻¹) | 330 | 310 | 47 | 70 |
| Pilotes de acero equivalentes madera verde (n° ha ⁻¹) | 225 | 233 | 58 | 70 |
| Valor económico anclaje taludes por bosques. Madera seca (usd\$ ha-1) | 330 | 310 | 47 | 70 |
| Valor económico anclaje taludes por bosques. Madera verde (usd\$ ha-1) | 225 | 233 | 58 | 70 |

CONCLUSIONES

La sistematización de estudios previos en el ámbito de la valoración económica de servicios ambientales en terrenos forestales, permite concluir que el servicio eco-sistémico de estabilización de taludes provisto por los bosques y con ello la reducción del riesgo de aluviones o corrientes de detritos en áreas urbanas en la zona de influencia, supera largamente la valoración económica de la producción maderera, el valor de la biodiversidad, la captura de carbono, el control de erosión y la reducción de caudales de crecidas.

Se concluye además, que el uso de pilotes de madera para la estabilización de taludes podría ser una alternativa efectiva, con enfoque forestal apropiado para abordar emergencias generadas por procesos de remoción en masa en terrenos forestales.

Estos antecedentes destruyen el mito ampliamente difundido en la Región de Aysén de que los árboles contribuyen a la inestabilidad de taludes y laderas inestables. En el caso de este estudio, los valores de resistencia al corte del sistema de raíces superarían largamente a la proyección normal del peso de los árboles en los taludes y laderas.

REFERENCIAS

- Alfaro, W. (2017). Plan de trabajo inmediato para la estabilización de los taludes colapsados durante el megadeslizamiento en la cuenca abastecedora de agua potable del estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Región de Aysén. Informe técnico. 32pp.
- INFOR. (2010). Propiedades de la madera de especies forestales nativas y exóticas en Chile. Informe Técnico. 96pp.
- ISCHBECK. (2012). Pilotes TITAN. Proyecto, diseño y ejecución. Manual. 44pp.
- TERRATEST. (2016). Anclajes post tensados. Manual. 9pp.

Como citar este artículo:

Alfaro, W., D'Apollonio, C., Bobadilla, J., León, C., Cisternas, J., Davinson, F., Cayul, M., Navarro, F. (2020). Evaluación técnica y económica de la función de los bosques y los pilotes de madera en la reducción del riesgo aluvional en la microcuenca peri-urbana abastecedora de agua potable del Estero Las Lavanderas, Villa Mañihuales, Aysén, Chile. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 32-41. doi: 10.29104/phi-aqualac/

La restauración forestal mediante el establecimiento de bosques en áreas incendiadas y otras formas de alteración que inducen procesos de remoción en masa del suelo microcuencas periurbanas abastecedoras de agua potable sería una de las medidas más costo efectiva a adoptar.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a todo el equipo de CONAF Aysén, personal técnico y administrativo, especialmente la Oficina Provincial de Aysén de CONAF y su Oficina de Área en Mañihuales por la extraordinaria colaboración en todas las etapas del proyecto. Los autores también agradecen el apoyo de la Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA) de la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF) en la Oficina Central de CONAF en Santiago, por la disposición para facilitar apoyo técnico. Mención especial al Gobierno Regional por el financiamiento del proyecto. Asimismo, los agradecimientos para las Juntas de Vecinos y Consejeros Municipales que apoyaron la iniciativa y manifestaron permanente su prioridad de implementación.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Integrating equality in evaluation of water access for irrigation in an Andean community

Integrando un enfoque de igualdad en la evaluación de acceso al agua para riego en una comunidad andina

Lina G. Terrazas V.^{1*}, Laura Forni², Marisa Escobar A.²

Recibido: 29/08/2019

Aceptado: 27/03/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

Las estadísticas de desarrollo de Bolivia reflejan considerables diferencias entre grupos sociales y geográficos, por ejemplo, la tasa de pobreza es mucho mayor en comunidades rurales agrícolas, donde las condiciones de vida dependen en gran medida del acceso a recursos hídricos. Las políticas de intervención que ignoran el principio de igualdad, pueden en muchos casos agudizar estas diferencias. En este estudio, evaluamos el acceso al agua para riego en una comunidad Andina, integrando una perspectiva de igualdad basada en la desagregación de datos. Mediante el análisis de datos disponibles, se identificó que la tenencia de derechos de agua y prioridad de distribución son los criterios principales que controlan el acceso al agua en la comunidad. Según estos criterios, la demanda de agua fue desagregada en 28 grupos y todo el sistema fue simulado en el software Water Evaluation and Planning (WEAP), con el que se evaluó la cobertura de demanda de agua. Algunos grupos tuvieron una cobertura de demanda de agua menor al 20%, mientras que otros alcanzaron una cobertura cercana al 100%. Estas diferencias no se pueden observar en el modelo agregado del sistema, para el cual la cobertura de demanda de agua fue superior al 60% todo el tiempo. La evaluación de escenarios de cambio climático indicó que la cobertura de demanda de agua puede reducir en un 15% durante la estación seca. Sin embargo, la implementación de estrategias planificadas podría contrarrestar esta reducción, a través del incremento de provisión e infraestructura de almacenamiento. La implementación de estas estrategias en el modelo indicó que la cobertura de demanda de agua puede aumentar hasta 80% para algunos grupos; sin embargo, otros grupos aún enfrentan escasez. Este estudio hace énfasis en métodos y herramientas de planificación que pueden reforzar los enfoques de igualdad existentes, y aumentar la eficiencia en la reducción de pobreza y desigualdad a través del manejo de agua.

Palabras clave: Igualdad, desagregación, derechos de agua, Andes, WEAP.

Abstract

Development statistics for Bolivia reflect considerable inequalities among people, for instance, poverty rates are much higher in rural agricultural communities, where living conditions depend to a great extent on access to water resources. Many policy interventions ignore the principle of equality, and in some cases even exacerbate differences. In this paper, we examine water access for irrigation in an Andean community, integrating a perspective of equality based on data disaggregation. By analyzing the available data, we identified that tenure of rights and distribution priority are the main criteria that control water access in the community. Based on these criteria, water demand was disaggregated into 28 groups and the system was simulated using the Water Evaluation and Planning (WEAP) software, which allowed us to assess water demand coverage. Some groups receive less than 20% of their water demand, while others receive almost 100%. These inequalities are hidden in an aggregated model, which shows that the entire system never receives less than 60% of water demand. An evaluation of future climate change scenarios showed that water demand coverage could decline a further 15% in the dry season. The implementation of planned strategies, however, could counteract that decline by increasing supply and storage facilities; the model showed that implementing these strategies could raise water demand coverage up to 80% for some groups; however, others still face shortages. This study highlights methods and tools in planning that can strengthen existing equality approaches, and increase the efficiency in reducing poverty and inequality through water management.

Keywords: Equality, disaggregation, water rights, Andes, WEAP.

1 Independent Consultant, Cochabamba, Bolivia; linaterrazas@gmail.com

2 Stockholm Environment Institute, Davis CA, USA. laura.forni@sei.org, marisa.escobar@sei.org

1. INTRODUCTION

In the past years, poverty and inequality have decreased in Bolivia. Between 2002 and 2017, the percentage of people living in poverty decreased to 35% from 67%, and the Gini coefficient decreased to 0.46 from 0.61. However, recent data show that strong inequalities persist, for instance, the percentage of people living in extreme poverty is 2.95 times higher for indigenous groups, and 5.9 times higher in rural areas (CEPAL 2019). Thus, reduction of inequality remains a very important challenge and there is need to focus on disadvantaged groups.

In the rural areas of Bolivia, 72% of the population practice agriculture (CEPAL 2019). The production conditions of farmers not only control their economic income, but also the level of food security in the region, and the indirect generation of jobs in other sectors such as construction and commerce. To improve these conditions, access to resources such as land, water, supplies, and market must be guaranteed.

Water access relies on existing and new management policies aimed at maximizing water availability, such as infrastructure for storage, distribution, and irrigation optimization (GTZ Sustainet 2008; Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2017a). Furthermore, sustainable agriculture incorporates strategies that guarantee higher production, preserve soil productivity, improve climate adaptation, safeguard good nutrition, and offer stable employment (FAO 2002).

However, policies that aim to increase resource availability and sustainability do not necessarily lead to a reduction in poverty and inequality. Policies that do not include an appropriate analysis of inequality risk exacerbating the differences among people and obstructing efforts to reduce poverty. Research can help to capture inequalities between social groups, and provide useful information to develop policies aimed at improving these conditions.

The main purpose of this study is to develop an approach that assesses water access for irrigation in an Andean community, and leads to identify equality challenges of water distribution and potential strategies to confront them. With this aim, we emphasize disaggregation in data collection and analysis, using technical tools that allow simulation in different scenarios.

2. METHODOLOGY

In this section, we first present political and socioeconomic circumstances that affect communities in the region, and the physical characteristics of the study area. Then, we describe the analysis of available data and the disaggregation of demand in WEAP for present and future scenarios.

2.1 Characteristics of agricultural communities in the Bolivian Andes

In rural areas, current access to natural resources is defined by physical, historical and socioeconomic factors that have also shaped the differences among communities and individuals.

Historically, in the Bolivian Andes, those who had control over territory were also in charge of managing water resources. The pre-colonial period, mainly represented by the Incan empire, is characterized by the conditional distribution of land to indigenous groups. After the conquest, Spaniards ruled based on systematic dispossession and exploitation. For indigenous people, this period marked the beginning of a permanent struggle to obtain recognition of their rights and property. In the post-colonial stage, republican governments undertook the difficult process of resource redistribution. However, until recent decades, social struggles continued caused by certain policies that created disadvantages by omitting indigenous groups (Crespo and Fernández 2001). For instance, the Agrarian Reform of 1953 distributed territory to peasants, but ignored indigenous groups, and granted land titles only to men (this was partially amended by the INRA Law of 1996 and the Community Conversion Law of 2006) (Razavi 2012; Beccar and Hoogendam 2010). In 2000, the government attempted to implement privatization policies that conceded control of water resources to private companies, completely ignoring the management and control mechanisms of local communities (Crespo and Fernández 2001). This situation led to widespread protests rejecting privatization and demanding recognition of their rights. As a result, in 2006, the current Irrigation Law was implemented, recognizing water management according to "uses and customs" and the rights of communities that register their water sources. However, this Law ignores those who do not water source, overlooks principles of equality and control of abuses, and requires a registration process that has generated competition and conflicts between communities (Razavi 2012; Seemann 2016). At present, the

implementation of policies in the water sector is framed by this legal instrument, and also follows the guidelines of public institutions, funders, and executors that integrate their own equality focus and mechanisms.

Inequalities in rural areas can be exacerbated by other processes, such as agricultural land conversion that mainly occurs due to urbanization and increase in land value (Löhr 2010). The highest conversion rates are found in underdeveloped countries, as their cities experience faster growth (Azadi et al. 2010); and most global conversion affects fertile lands (Bren d'Amour et al. 2017). Although conversion is perceived as an inevitable process to achieve development, it has many negative impacts, such as a reduction in agricultural production, more competition for water sources, the need for residents to acquire new skills, and the loss of agriculture-related knowledge and cultural practices. These consequences are worse for disadvantaged groups, who have fewer resources to endure this process.

The gender distribution of water rights in Andean agricultural communities is influenced by different factors. Beccar and Hoogendam (2010) explain that most men inherit land property (usually linked to water rights) because of the persistence of colonial traditions and the physical nature of agricultural work; men usually perform heavier tasks, while women perform those that require patience and dexterity (Morlon 1996; Gisbert et al. 1994). When agriculture is not enough for subsistence, men migrate to mines or cities; as a result, women assume all the tasks that men had and the representation of water rights, which includes participating in decision-making. In some cases, work overload for women has a toll on soil conservation, causing lower productivity (Ashwill et al. 2011; Gisbert et al. 1994). With industrialization, the purpose of agriculture changed from survival to capital generation (Arratia and Sánchez 1998). For women, domestic tasks became more devalued as they do not generate capital (Zwarteveen 2010). In addition, the assumption that men are the only "producers" and decision-makers is reflected in biased allocation of resources such as water (Zwarteveen 1997; van Koppen 1998; Twyman et al. 2015).

2.2 Study Area

The community of Marquina is located within the boundaries of the Quillacollo Province in the Department of Cochabamba. It is situated in the valleys of the Andean eastern cordillera (see Figure 1). Climate is temperate with a dry winter, and rainy

austral summer with an average annual rainfall of 600 millimeters. The average mean temperature is 18°C.

Marquina's proximity to the Chocaya River, climate and soil conditions have favored agricultural activity. The sources of water for irrigation are river streamflow and reservoir releases from El Toro and Marquina; stored water is shared with the communities Bella Vista (upstream) and Paucarpata (downstream).

Water is distributed through a system of open channels presented in Figure 1. The network has a main branch (1), one partially isolated (2), and the rest labeled in clockwise order. Drinking water systems are independent and were not included in this analysis.

The cultivated area is approximately 72 hectares and the most profitable products are flowers, fruits, potatoes, vegetables, maize, alfalfa, legumes, and herbs. Climate and weather conditions that affect production are water scarcity, hail and frost. Production costs depend largely on whether a farm needs to hire labor or can rely solely on family members, and sale prices are determined by variable market conditions.

The closest urban area is Quillacollo city, which is 14.5 kilometers south of Marquina. In recent years, uncontrolled urban sprawl has led to land fragmentation and disorganized house construction. This process of land conversion risks the preservation of agriculture; moreover, an increasing population and water demand pose a threat to irrigation water sources. In response, the Organization of Irrigators from Marquina has demanded that authorities implement measures that guarantee water availability and optimize irrigation practices.

2.3 Water rights for irrigation

Water rights systems in the region are complex, as they combine principles of Andean cultures and colonial practices whose norms interact in the same territory, also known as legal pluralism (von Benda-Beckmann et al. 1997). In Marquina, there are three types of water rights: the system of "mit'a" or turns; releases of reservoirs or "largadas"; and "aguas comunes" or free distribution. In addition to water access, these rights include restrictions, sanctions, and obligations to participate in decision-making processes about the system (Beccar et al. 2002).

The mit'a was implemented in the pre-colonial period when river streamflow was distributed to subregions following principles of Andean rationality,

complementarity, reciprocity, equality, and rotation; these principles are also reflected in the collective management and maintenance of water infrastructure (Morlon 1996; Gerbrandy and Hoogendam 1998; Crespo and Fernández 2001). The reservoirs were built during and after the colonial period, and those who participated in the construction became beneficiaries, also known as hydraulic property creation (Coward 1990). Over time, these rights were transferred through other mechanisms such as inheritance, sale and rent (Boelens and Doornbos 2001). In figure 1, plots of beneficiaries for each

network branch are coded by color; those with more water rights are indicated with higher color saturation. For all systems, distribution priority diminishes downstream the diversion point.

The amount of monthly rainfall and river streamflow indicate the enforcement of each right: common waters during the rainy season (December to March), mit'a from April to October, and reservoir gates open in the period of minimum river flow (August to November). The characteristics are presented in table 1.

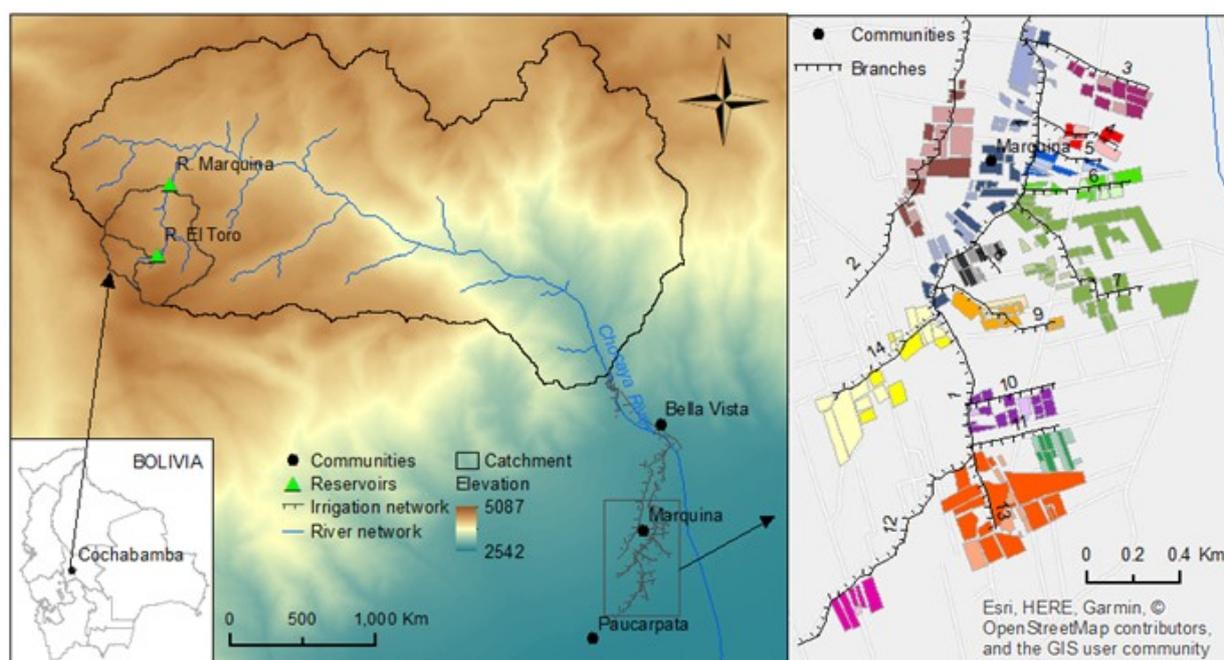


Figure 1. Location of the study area (left) and the irrigation network in Marquina (right). Cultivated plots are color coded by branch, with higher saturation indicating more water rights.

Table 1. Characteristics of water rights

| Right | Source | Months | Turn | Acquisition mechanism |
|---------------|----------------------------------|---------|-------------------------------|---|
| Aguas comunas | Surface flow of Chocaya river | Dec-Mar | No limit | By default |
| Mit'a | Subsurface flow of Chocaya river | Apr-Oct | 5 to 60 minutes every 20 days | Linked with land, hereditary, sale |
| El Toro | Reservoir | Aug-Oct | 30 to 60 minutes per release | Hydraulic property creation, hereditary, sale |
| Marquina | Reservoir | Nov | | |

2.4 Analysis of available data

The Organization of Irrigators provided lists that contain information on the branches, cultivated areas,

water rights, and representatives of 255 families; these persons are not necessarily land or water right owners, but they have the authority to represent

family interests in regards to water access for agriculture. The variability of water rights was analyzed based on type of right, area, gender and branch; data about social class was not available for Marquina. This analysis aims to explore which factors may influence water access, excluding other circumstances such as infrastructure status, irregular distribution, or illegal diversions; for which information is not available and is difficult to identify.

2.5 Configuration of WEAP model for the baseline scenario (1980-2014)

The Water Evaluation and Planning (WEAP) system is an integrated water resources management model that can simulate offer and demand processes, considering user-defined priorities and preferences. In the model, we can configure hydrology, infrastructure operation, environmental processes, and different types of demand on different levels of hierarchy and time scales (Yates et al. 2005). In addition, we can simulate present and future scenarios of climate, land use, strategy implementation, population growth or any other factor that affects water resources.

WEAP has been implemented in Bolivia to simulate water resources under climate change uncertainty in the cities of El Alto and La Paz (Escobar et al. 2013), and to develop the National Water Balance for 1980-2016 (Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2017b). At present, it is used to develop the Plan of Rocha basin in Cochabamba and to integrate water access and sanitation planning with river basin management in Tupiza.

Because of WEAP's flexibility in data configuration, which makes it capable to fit any context, we were able to represent the complex distribution of water rights and disaggregate demand data.

The community of Marquina was represented in WEAP in two forms: 1) as a single demand node, as is usual in watershed level modeling, and 2) as a disaggregated model with numerous nodes. Data should be disaggregated based on factors that have the most impact on water access for irrigation – for example, tenure of water rights, location within the distribution network, affordability of water charges, and capacity to build irrigation infrastructure. These factors are case-specific and may also depend on social class and gender, as they are closely related to historic, cultural and socioeconomic characteristics. In this study, we used the available data to identify

the main factors that affect water access in Marquina, recognizing the limitations due to the lack of other information.

Below we present details of input data for the processes of rainfall-runoff, reservoir operation, water distribution, and demand for the baseline period, defined as from 1980 to 2014.

Rainfall-runoff simulation requires meteorological and hydrologic data. In the absence of stations within the study area, we used baseline data from the Bolivian National Water Balance (Ministerio de Medio Ambiente y Agua 2017b), including the regional gridded daily series of rainfall and temperature interpolated with the GMET tool (Newman et al. 2015) and adjusted for altitude effects. Humidity, wind speed, and cloudiness data were interpolated from curves obtained with regional observed data for different elevation ranges. Land coverage information was obtained from the European Space Agency and soil type data from the Food and Agriculture Organization. In WEAP, the soil moisture method described in Yates et al. (2005) was used to simulate the rainfall-runoff process.

Since the river lacks hydrometric stations, model parameters could not be adjusted based on flow data. As an alternative, we used available data on reservoir storage levels and releases to validate model parameters.

Reservoir operation requires data of maximum storage capacity and dam height, both obtained from the National Dam Inventory (Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego 2010). To simulate dam releases we used the element Flow Requirement, and set the minimum flow needed to empty the reservoir during the months of enforcement. Table 2 indicates the expressions for minimum flow requirement for each month (mon) for Marquina reservoir and mit'a, where STO_{mon} and SM_{Amon} are the active volume stored in El Toro and Marquina, and s_{mon} is the number of seconds. The Marquina reservoir is located on the same reach downstream as El Toro; thus, from August through October, it stores and releases volume from El Toro. For mit'a, the minimum flow requirement is a fraction of Q_{mon} , which is the streamflow at the diversion point where community representatives distribute water based on these approximated fractions. The increase during the dry season reflects higher demand and less water availability.

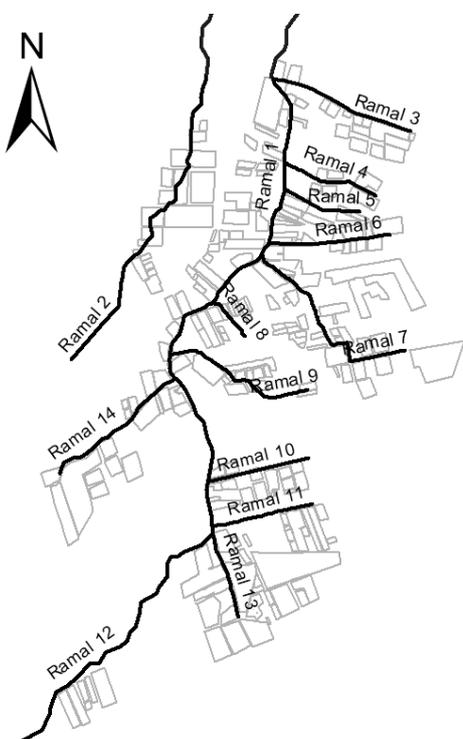
Table 2. Minimum Flow requirements at the main diversion (for all communities)

| Month | Marquina [m ³ /s] | Mit'a [m ³ /s] | Month | Marquina [m ³ /s] | Mit'a [m ³ /s] |
|-------|------------------------------|---------------------------|-------|---|---------------------------|
| Jan | 0 | 0 | Jul | 0 | 0.4*Q _{Jun} |
| Feb | 0 | 0 | Aug | STO _{Jul} /(3*S _{Jul}) | 0.5*Q _{Jul} |
| Mar | 0 | 0 | Sep | STO _{Aug} /(2*S _{Aug}) | 0.5*Q _{Aug} |
| Apr | 0 | 0.3 | Oct | STO _{Sep} /(1*S _{Sep}) | 0.5*Q _{Sep} |
| May | 0 | 0.3*Q _{Apr} | Nov | SMA _{Oct} /(1*S _{Oct}) | 0 |
| Jun | 0 | 0.4*Q _{May} | Dec | 0 | 0 |

Table 3. Distribution factors per community and water right

| Community | Mit'a | El Toro | Marquina |
|-------------|-------|---------|----------|
| Bella Vista | 0.5 | 0 | 0.25 |
| Marquina | 0.4 | 0.75 | 0.5 |
| Paucarpata | 0.1 | 0.25 | 0.25 |

Table 4. Distribution factors per water right and network branch

| Network | Branch | Mit'a | El Toro | Marquina |
|---|--------|-------|---------|----------|
|  | 1 | 0.028 | 0.132 | 0.174 |
| | 2 | 0.000 | 0.075 | 0.075 |
| | 3 | 0.028 | 0.074 | 0.059 |
| | 4 | 0.028 | 0.037 | 0.034 |
| | 5 | 0.056 | 0.051 | 0.047 |
| | 6 | 0.097 | 0.051 | 0.055 |
| | 7 | 0.056 | 0.206 | 0.182 |
| | 8 | 0.042 | 0.037 | 0.064 |
| | 9 | 0.139 | 0.066 | 0.051 |
| | 10 | 0.083 | 0.096 | 0.068 |
| | 11 | 0.028 | 0.044 | 0.055 |
| | 12 | 0.139 | 0.037 | 0.025 |
| | 13 | 0.139 | 0.118 | 0.102 |
| | 14 | 0.139 | 0.051 | 0.085 |

To represent water distribution, we used Diversions and Flow Requirements, for which equal expressions of Maximum Flow and Minimum Flow Requirement were defined. For each month, the volume of the source (river or reservoir) of the previous time step was multiplied by the branch's fraction of water rights with respect to the total. Table 3 presents the fixed distributing factors for each community and right, that multiply the expressions presented in table 2. Also, table 4 presents fixed distribution values per branch that multiply the last result.

Water delivery from diversions to demand nodes is represented with Transmission Links. The configuration of demand nodes for irrigation requires the Annual Activity Level (cultivated area) and the

Annual Water Use Rate (total annual irrigation demand). This was calculated with the methods described in the FAO Manual (Allen et al. 1998) for six typical crop rotations: corn-potato, onion-legumes, flowers, fruits, herbs, and alfalfa. Finally, Loss Rate was estimated to be 0.7, considering flood irrigation and an estimation of other losses.

Figure 2 presents the configuration of Marquina as a single node in WEAP, and the diversions for the other communities. We used the codes Ac (common waters), Mi (mit'a), LM (Marquina reservoir) and To (El Toro reservoir) to represent each water right diversion and flow requirement. The schematic of the disaggregated model is presented in Section 3.1.

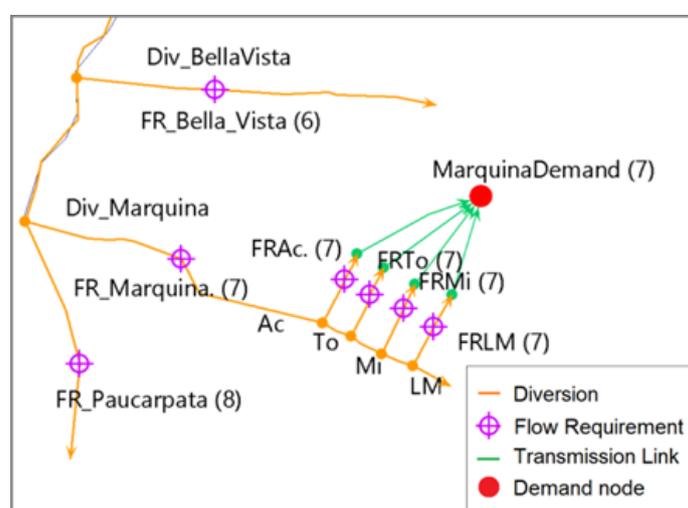


Figure 2. Schematic view of aggregated model of Marquina in WEAP

2.6 Definition of future scenarios

The period for future analysis is 2015-2049. Four scenarios were defined for climate change, and four were defined for implementation of planned measures.

We used global climate models that were previously evaluated in Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2017) and showed more similarities with historic climate characteristics at national (CCSM4, MPI-ESM-LR) and local scale (CESM1CAM5, IPSL-CM5A). We selected the most pessimistic trends of greenhouse gas emissions for all global climate models, assuming that they will continuously rise in the future (Representative Concentration Path 8.5).

The downscaling process was performed using the statistical nonparametric method K-NN

(Gangopadhyay and Clark 2005), which consists of the construction of synthetic series as sequences of historical observations that preserve statistical characteristics. The main advantages of this method are that it captures the climatic attributes of the observations and preserves their spatial correlation.

The scenarios of strategy implementation included planned measures to optimize water management and increase availability, while ensuring the preservation of agricultural practices. The four scenarios were:

- Measure 1: Raise the height of the Marquina reservoir dam to increase storage capacity (1.25 times larger), with no change in distribution factors and the month of enforcement.

- Measure 2: Release additional 120 liters/second of the Misicuni Project (dam), distributed during May-July.
- Measure 3: Implement a sprinkler irrigation system, reducing the total loss rate from 0.7 to 0.3
- Measure 4: Build storage tanks, one in Branch 1 (the main branch) and the other in Branch 2, with releases set from April to July.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, we first present the results of the disaggregated analysis, and then the results of simulation in the present and future scenarios.

3.1. Analysis of available data

The list from the Organization of Irrigators contained information on the branches, cultivated areas, water rights, and representatives of 255 families. Water rights were analyzed based on the type of right, cultivated area per branch and gender. The aim of this analysis was to identify the factors that have more influence in water access, however, it was not possible to assess the effect of other circumstances such as infrastructure status, irregular distribution, or illegal diversions because this type of information is difficult to identify and it was not available.

Water rights are expressed as turns (seconds) accumulated per month from 0 to 10 hours. These

turns can be distributed one to four times in a month, depending on the right and water availability.

The distribution based on type of water right, shows that the largest variation corresponds to mit'a, mainly due to irregular and heterogeneous land fragmentation that affected the rights linked to territory. The allocation process also did not benefit Branch 2 because of the branch's location and soil characteristics. The variability for El Toro rights reflects the investment of labor during the construction (simple or double). In the case of water rights for the Marquina reservoir, every farmer has the same turn.

Figure 3 indicates the total branch area (sorted in ascending order) and the corresponding right/area ratio for each water right. This ratio helps us to identify the branches where water rights may be concentrated or lacking. For instance, the branches with the greatest ratio are 10, 12 and 8, and the branches with the lowest ratio are 14, 13 and 1 for El Toro, mit'a, and Marquina respectively. Although a comparison of turns does not reflect water volume or priority, it provides a preliminary assessment that disadvantaged groups could be located in branches 1, 2, 13 and 14. In addition, we calculated the distribution of representatives (i.e. farmers) per area, the results show that 10% of representatives manage plots larger than one hectare, which corresponds to 35% of the total agricultural area.

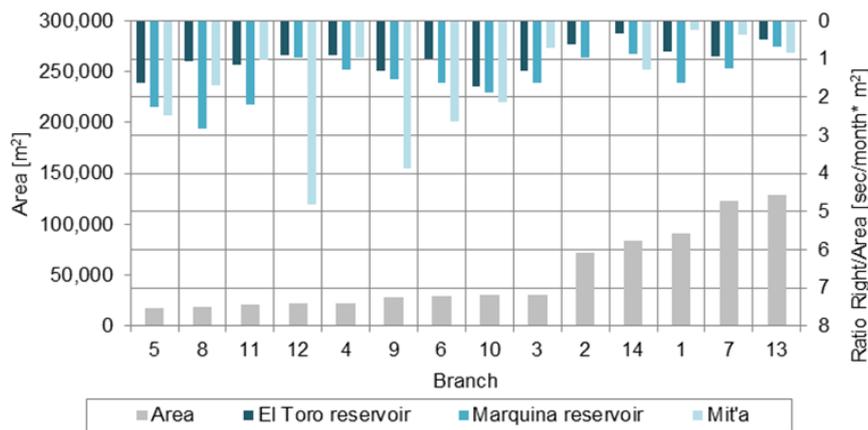


Figure 3 Cultivated Area per branch (sorted in ascending order) (m²) and Right/area ratio (seconds/ month*m²)

The gender distribution of water rights indicates that 48% correspond to male and 52% to female representatives. In addition, we calculated the distribution of representatives (48% man and 52% women) and control of plot area (50% for male and

female representatives). These percentages do not reflect ownership, which remains mostly male as reflected in other communities in the region; for instance, near the small city of Punata, the average percentage of female water rights's owners is 30%

(Saldías et al. 2011). Data collected from a smaller sample (150 users) shows no preferences of cultivated crop based on gender. Similarly, gender distribution of representatives per branch is even, which suggest that there are no considerable differences in priority. These results ignore other circumstances that may affect water access because of limited data.

3.2 Demand Disaggregation

The available information indicates that the main factors that influence water access are the tenure of a certain water right (mit'a, El Toro or Marquina), and priority which depends on the plot location within the

network. Other specific circumstances such as state of plot-level irrigation infrastructure, irregular distribution or illegal diversions were not accounted for because of the lack of data.

Therefore, the disaggregation criteria for demand were based on water rights combination per branch. Figure 4 presents the schematic of the disaggregated model in WEAP, the network has 14 branches, and for each branch we found two combinations or water rights, that form the groups AcLM2, AcLMTo2, and for the rest of the branches AcMiLM#Branch and AcMiLMTo#Branch. In total, there are 28 groups or disaggregated demand nodes.

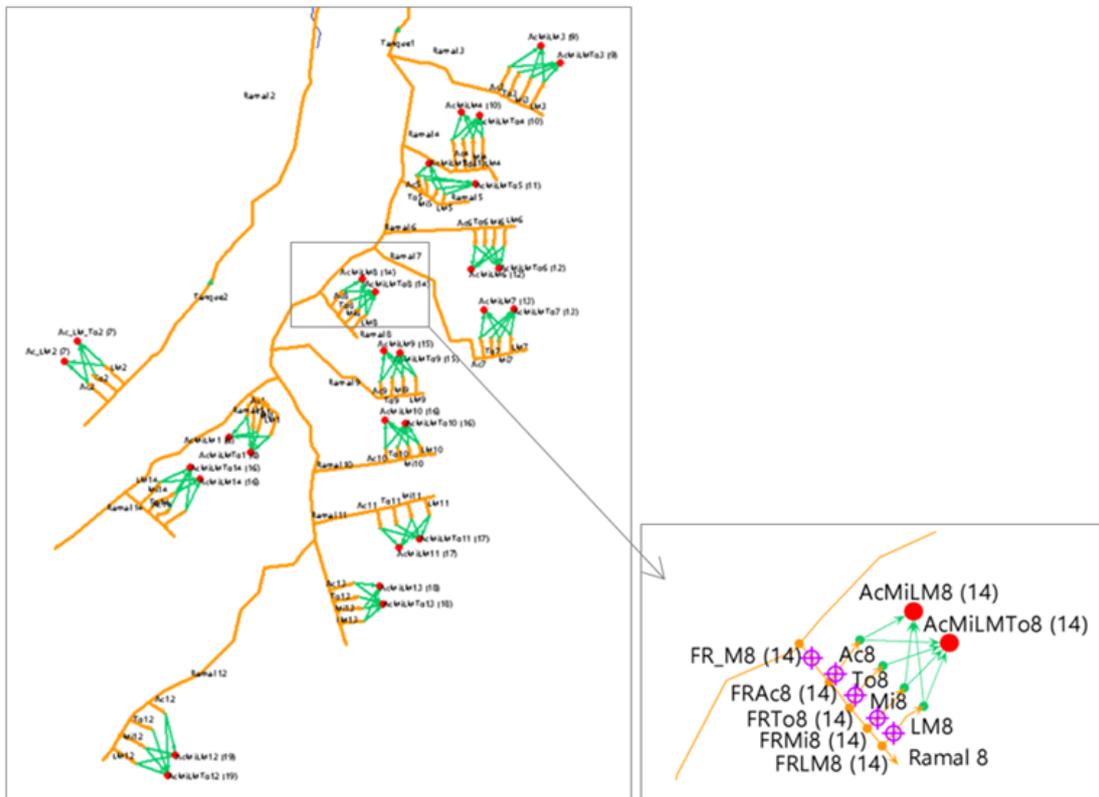


Figure 4. Schematic of disaggregated model of Marquina in WEAP

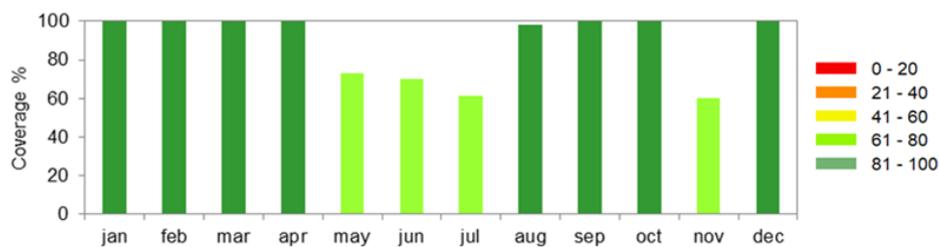


Figure 5. Average monthly coverage for aggregated model

3.3. Simulation results for the baseline period 1980-2014

The results of the aggregated model for the baseline period are presented in Figure 5, we can see that the average monthly coverage has a minimum of 60% in July and November. This result could be the only available information indicating the degree to which irrigators need funding for water management projects. In general, funding is approved for communities that present critical conditions of coverage overall, thus, Marquina is likely not a priority. However, decision-making based on this information fails to address possible inequalities among farmers and prevents that small disadvantaged groups in critical conditions improve their situation. The results of the disaggregated model are presented in Figure 6 and Figure 7. The average monthly coverage indicates that branches 1, 2, 3, 7, 12, 13

have less than 20% of coverage in the dry season. We can also distinguish the benefits for the plots that have El Toro rights in branches 2 and 12, with greater coverage during August-October. In branch 12, despite the greater right/area ratio for mit'a, there is a shortage due to low priority. The branches that have high coverage every month are 5, 6, 8, 9, 10 and 14; all of them have high right/area ratios for each right, except branch 14 that is benefited because of priority. The results of the model allow us to go beyond the theoretical allocation of water rights and reveal which groups experience critical shortages. Unlike the results of the aggregated model that indicate regular to good coverage (61-80%) throughout the system in the dry season, the disaggregated model reveals the 4 branches with a critical situation (<20%), and that actions are required to improve the conditions of these specific groups.

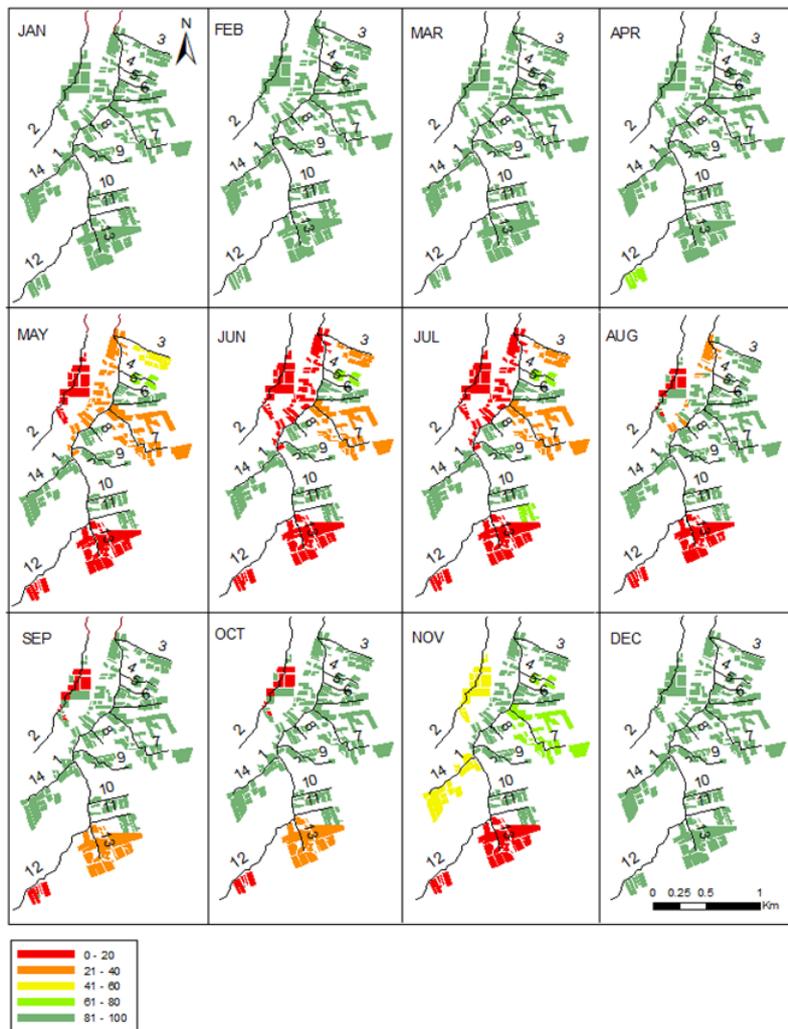


Figure 6. Average monthly coverage for disaggregated model, branch number indicated

3.4. Climate change scenarios

The results of climate change analysis are presented in Table 5. Mean annual temperature increased for all scenarios by 1.2°C to 1.7°C, with the highest seasonal increase occurring in winter (+2°C) and the lowest occurring in summer (+0.5°C). The change in average annual rainfall is +4% to +11% for all models except MPI-ESM-LR, which indicates -3%. During the first months of the wet period (December-February), monthly rainfall increases for all scenarios (up to 30%) and from February-May, it decreases (up to -15%). Changes in the dry season are negligible. These results are similar to those found at the

regional scale (Rocha river basin), that show changes in average temperature of +1.3 to +1.7°C, and percentage changes in annual rainfall of +1 to +5% (Stockholm Environment Institute, 2017).

Annual irrigation demand is higher (+7% to +15%) under all climate scenarios. On the other hand, changes for annual volume of surface runoff varies widely from -19% (for MPI-ESM-LR) to +21%. Monthly values increase during December-January for all models (except MPI-ESM-LR), decrease from February to March, and present small reductions in the dry season.

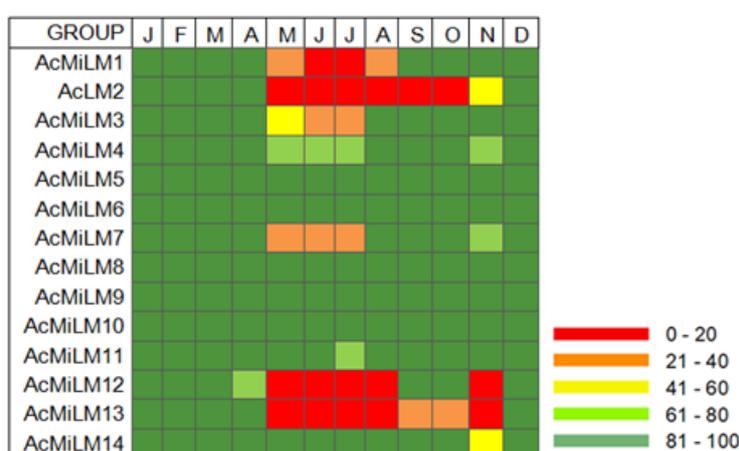


Figure 7. Average monthly coverage per branch for the groups with fewer water rights

Table 5. Change of variables under climate change scenarios

| Change | CCSM4 | CESM1CAM5 | IPSL-CM5A | MPI-ESM-LR |
|--------------------------------|-------|-----------|-----------|------------|
| Annual rainfall (%) | 4.0 | 11.8 | 6.7 | -3.5 |
| Mean annual temperature (°C) | 1.2 | 1.3 | 1.7 | 1.6 |
| Annual demand (%) | 7.3 | 9.1 | 15.1 | 14.1 |
| Mean annual surface runoff (%) | 0.0 | 20.9 | 7.5 | -18.7 |

Figure 8 shows the absolute change in average monthly coverage for the groups with fewer water rights. In general, there is a decrease during the dry season that is more severe (-15%) for branches 4, 8, 11, and 7. Only in April, there are increments up to +17% for branches 7, 8, 12 and 13. There are almost no changes for branches 9 and 12, which remain with no coverage in the dry season. The smallest changes

correspond to CESM1CAM5 model and the largest to MPI-ESM-LR.

3.5. Implementation of strategies

The measures with the greatest impact are Measure 2 (release additional water from Misiscuni Project) that increases the supply, and Measure 4 (build storage tanks in Branch 1 and 2) that improves management with small reservoirs (See Figure 9 and Figure 10).

The implementation of Measure 3 (sprinkler irrigation) improves coverage as well, but not for Branches 1, 2, 12 and 13, in part because low priority and lack of water rights are not solved with this measure. The measure with the least impact is 1 (increase volume of the Marquina reservoir) that results in a small change, note that the volume is shared with two other communities and is only released in November when coverage is not critical.

Despite the improvements with Measures 2 and 4, there is still scarcity in August and November for Branches 2, 12 and 13. Therefore, it is necessary to modify the strategies, integrating a perspective of equality to address these differences, or to propose new ones.

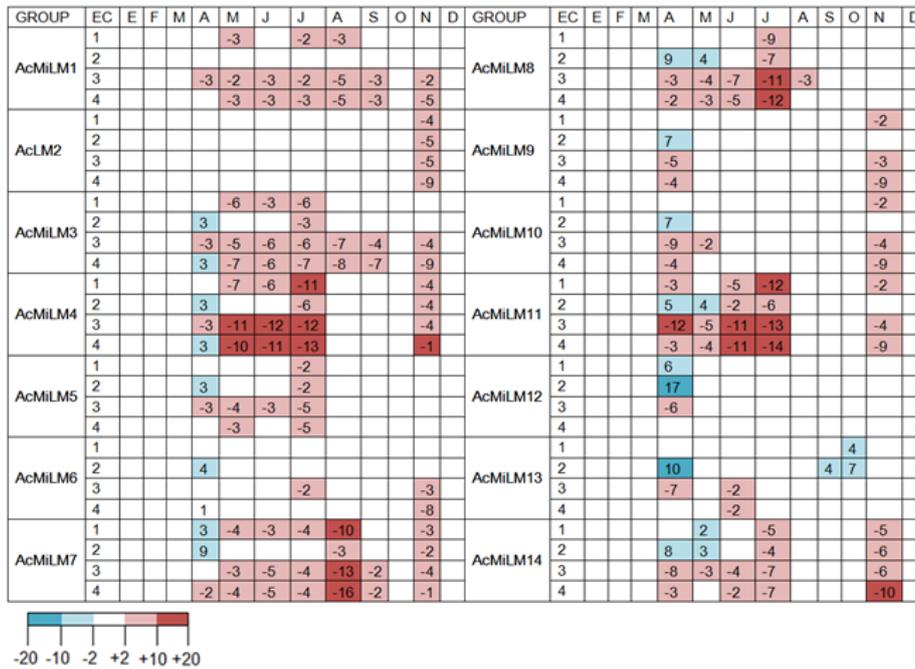


Figure 8. Absolute average monthly changes in coverage for the groups with fewer rights per branch, and for climate change scenarios: 1 CCSM4, 2 CESM1-CAM5, 3 IPSL-CM5A, 4 MPI-ESM-LR

The combined results of climate change and implementation of measures are presented in Figure 11. We can see that the differences in annual coverage for projections of climate change are negligible. On the other hand, changes for measures 2 and 4 increase annual coverage by 20% for some branches.

The main sources of uncertainty in this study were related to limitation of data. Some aspects that may affect water access such as status of infrastructure, irregular distribution, or illegal diversions were not considered, as these situations are difficult to identify, register and collect.

In the simulation process, due to lack of meteorological stations, we used regional data and adjusted some of the variables considering geographic characteristics. We recommend installing

meteorological stations in strategic places that cover representative geography and communities. In regards to hydrometric stations, performing flow measurements regularly can provide useful information and support farmers in control activities.

There is also uncertainty related to reservoir data, as infrastructure damages such as fractures may reduce maximum storage volume. It is necessary to carry field campaigns to update geometric information and to perform routine checks to improve operation conditions.

In regards to water distribution, gates are operated manually and flow is not distributed as precisely as in the model. We recommend implementing measurement devices to better quantify system losses due to infiltration or illegal extractions.

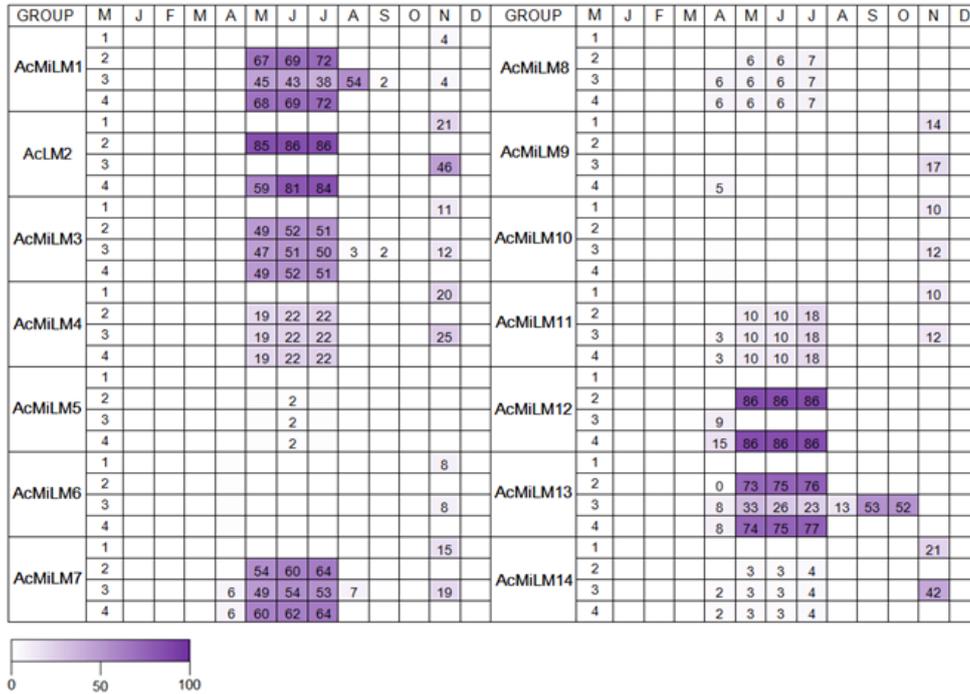


Figure 9. Absolute average monthly changes in coverage for the groups with fewer rights per branch, and for the implementation of measures: 1 Increase volume of Marquina, 2 Misticuni supply, 3 Sprinkler irrigation, 4 Storage tanks.

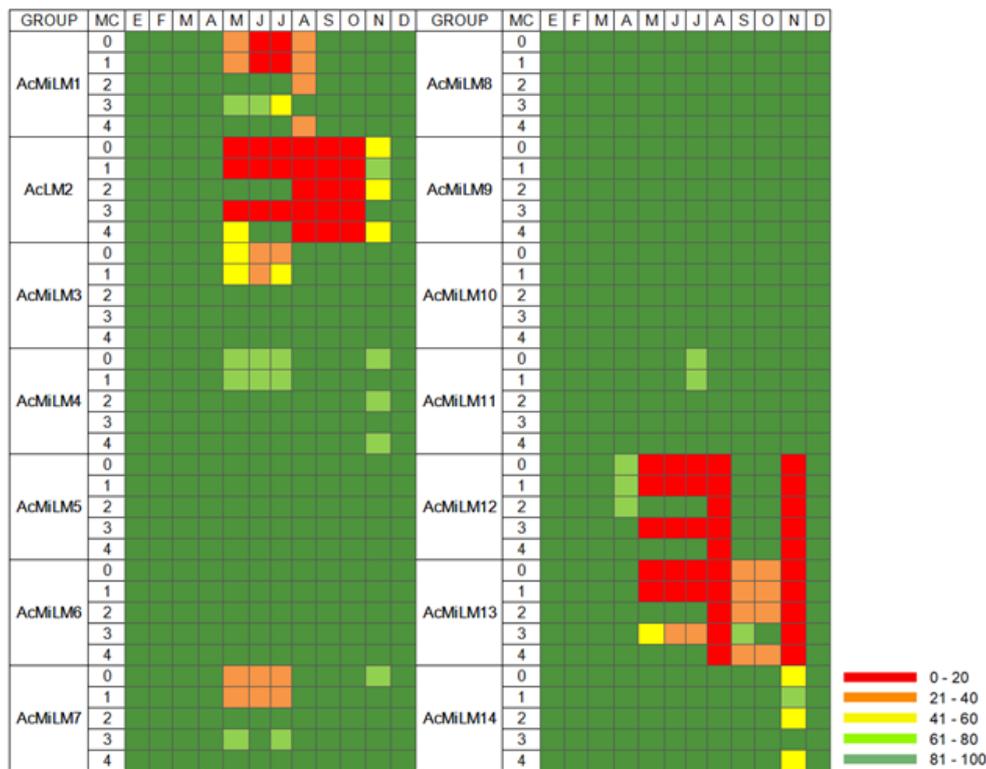


Figure 10. Average monthly coverage for the groups with fewer rights per branch, and for the implementation of measures: 0 No measure, 1 Increase volume of Marquina, 2 Misticuni supply, 3 Sprinkler irrigation, 4 Storage tanks.



Figure 11. Average annual coverage results per branch, measure (rows) and climate change scenario. Measures: 0 No measure, 1 Increase volume of Marquina, 2 Misticuni supply, 3 sprinkler irrigation, 4 storage tanks. Scenarios: 0 No change, 1 CCSM4, 2 CESM1-CAM5, 3 IPSL-CM5A, 4 MPI-ESM-LR

4. CONCLUSIONS

In this study, we integrated a focus of equality to evaluate water access for irrigation in an Andean community. First, we analyzed available data to identify which factors may have more influence on water access, and then we used them to disaggregate demand in the WEAP model.

The available data suggested that water access for irrigators in Marquina depends mainly on tenure of water rights of a certain system and distribution priority. The aspects that determine water rights are case-specific and depend on the mechanisms of water rights allocation and transfer. These are also influenced by population growth, land fragmentation and migration.

The WEAP software allowed us to represent the demand in an aggregated and disaggregated manner, demonstrating the benefits of addressing inequalities by disaggregating the relevant details of water rights and distribution in this particular community. The model provides flexibility to create new variables and expressions relevant to a specific community, and this example provides an application that could be useful for other regions.

The results of the disaggregated simulation showed that a small number of groups face shortages with a coverage of lower than 20% in the dry season. These groups have fewer water rights or lower priority as they are located downstream. This shortage is slightly worsened in future climate change scenarios as coverage further reduces by 15% in the dry season. Results show higher coverage with improvements in water availability with the Misticuni project and additional water storage. However, without the integration of an equality-based approach for water distribution, some groups in the community will still face shortages despite the benefits of this water transfer.

Currently, studies that integrate equality considerations in planning-based research and in the evaluation of adaptation strategies are scarce. Most studies are done at the watershed scale to obtain integrated water management plans, without delving into the details of specific communities. In these studies, it is likely that the internal inequalities of communities are not highlighted or addressed. In general, the data collection activities require a high level of detail to obtain complete disaggregated datasets, which increases complexity and time requirement to simulate present and future scenarios,

and to evaluate the impact strategies on the solution of water allocation inequalities.

In addition, ex-post evaluation of water management strategies are limited, thus, the level at which objectives and sustainability were fulfilled are mostly unknown. A disaggregated, systematic and objective assessment of a concluded strategy can help us find how benefits were distributed within the community and what contributed to reduce or increase inequality.

Implementing the methodology of this study in other communities can help promote equality-based approaches and improve our understanding of the aspects that affect water access in different contexts, and in particular the factors that affect disadvantaged groups. Furthermore, analyzing access to other

resources –such as farm input supplies and capital markets– can provide a wider socio-economic perspective. Doing so, will undoubtedly require more investment but will surely contribute to the challenging task of reducing poverty and inequality.

Acknowledgments

We wish to acknowledge the work of Bernadette P. Resurrección & Sivan Kartha from the Gender and Social Equality Program, created by the Stockholm Environment Institute, and the valuable contribution of Emily Yehle in the revision process.

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO *Irrigation and Drainage paper* 56. FAO, Rome.
- Arratia, M., Sánchez, L. (1998). “Riego Campesino y Género” Una aproximación conceptual. *Componente de Asistencia Técnica PRONAR*, Cochabamba, Bolivia.
- Ashwill, M., Blomqvist, M., Salinas, S., Ugaz-Simonsen, K. (2011). *Gender Dynamics and Climate Change in Rural Bolivia*. World Bank, Washington. <https://doi.org/10.1596/27161>
- Azadi, H., Ho, P., Hasfiati, L. (2010). Agricultural land conversion drivers: a comparison between less developed, developing and developed countries. *Land Degradation and Development* 22(6):596-604. <https://doi.org/10.1002/ldr.1037>
- Beccar, L., Boelens, R., Hoogendam, P. (2002). *Water rights and collective action in community irrigation*. In: Boelens R, Hoogendam P (eds) *Water Rights and Empowerment*. Koninklijke Van Gorcum, The Netherlands, p. 1-21.
- Beccar, L., Hoogendam, P. (2010). *Promoviendo igualdad de género en Proyectos de riego. Subprograma de Inversiones en Riego Intercomunal (SIRIC)*. Cochabamba, Bolivia. http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/ag_proyectos-riego-genero.pdf. Accessed August 2018
- Boelens, R., Doornbos, B. (2001). *The battlefield of water rights: Rule making amidst conflicting normative frameworks in the Ecuadorian Highlands*. *Human Organization* 60(4): 343-355. <http://www.jstor.org/stable/44127499>
- Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K., Haberl, H., Creutzig, F., Seto, K.C. (2017). *Future urban land expansion and implications for global croplands*. *Proceedings of National Academy of Sciences*, Aug 2017, 114 (34): 8939-8944, doi:10.1073/pnas.1606036114114, 8939–8944.
- CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2019). *CEPALSTAT - Base de Datos y Publicaciones Estadísticas*. estadisticas.cepal.org. Accessed January 2019.
- Coward, E. (1990). Property rights and Network order: The case of Irrigation works in the Western Himalayas. *Human Organization* 49(1):78-88. <https://www.jstor.org/stable/44125998>
- Crespo, C., Fernández, O. (2001). *Los campesinos regantes de Cochabamba en la Guerra del Agua: Una experiencia de presión social y negociación*. CESU-UMSS, FEDECOR, RACSA-IRDC (Canadá), Cochabamba, Bolivia.

- Escobar, M., Lima, N., Purkey, D., Yates, D., Forni, L. (2013). Modelación hidrológica y escenarios de cambio climático en cuencas de suministro de agua de las ciudades La Paz y El Alto, Bolivia. *Aqua-LAC* 5(2):23-34.
- FAO. (2002). *Sustainable agriculture and rural development: Reporting on progress for chapters 10, 12 and 14 of Agenda 21*. Presented at the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, 2002.
- Gangopadhyay, S., Clark, M., Rajagopalan, B. (2005). Statistical downscaling using K-nearest neighbors. *Water Resources Research* 41(W02024). doi:10.1029/2004WR003444.
- Gerbrandy, G., Hoogendam, P. (1998). *Agua, riego y comunidades en los Andes Bolivianos*. In: *Plural CID (eds) Aguas y Acequias: Los Derechos Al Agua y La Gestión Campesina de Riego En Los Andes Bolivianos*. Cochabamba, Bolivia. p. 1-74.
- Gisbert, M.E., Painter, M., Quitón, M. (1994). Gender Issues Associated with Labor Migration and Dependence on Off-Farm Income in Rural Bolivia. *Human Organization* 53(2):110-122. <https://www.jstor.org/stable/44126874>
- GTZ Sustainet. (2008). *Agricultura sostenible: una salida a la pobreza para la población rural de Perú y Bolivia*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn. <http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/agricultura-sostenible-pobreza.pdf>, Accessed August 2018.
- Löhr, D. (2010). The driving forces of land conversion. Towards a financial framework for better land use policy. *Land Tenure Journal* (FAO) 61–89. <http://www.fao.org/3/i1634t/i1634t03.pdf> Accessed August 2018.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2017^a). *Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas*. 2017-2020, La Paz, Bolivia
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2017b). *Desarrollo del Balance Hídrico de Bolivia 1980-2016*. La Paz, Bolivia. Morlon P (1996). *Comprender la Agricultura campesina en los Andes centrales (Perú y Bolivia)*. Instituto Francés de Estudios Andinos, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas, Lima, Perú.
- Morlon, P. (1996). *Comprender la Agricultura campesina en los Andes centrales (Perú y Bolivia)*. Instituto Francés de Estudios Andinos, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas, Lima, Perú.
- Newman, A.J., Clark, M.P., Craig, J., Nijssen, B., Wood, A., Gutmann, E., Mizukami, N., Brekke, L., Arnold, J.R. (2015). Gridded Ensemble Precipitation and Temperature Estimates of the Contiguous United States. *Journal of Hydrometeorology* 16:2481-2500. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0026.1>
- Razavi, N.S. (2012). *Uses and Customs in Bolivia: Impacts of the Irrigation Law on Access to Water in the Cochabamba Valley*. Master Thesis, submitted to University of Ottawa, Canada. https://ruor.uottawa.ca/bitstream/10393/22890/1/Razavi_Nasya_2012_thesis.pdf. Accessed August 2018.
- Saldías, C., Speelman, S., Van Huylbroeck, G. (2011). *A source of conflict? Distribution of water rights in Abanico Punata*. Bolivia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 145:473-484.
- Seemann, M. (2016). Inclusive recognition politics and the struggle over hydrosocial territories in two Bolivian highland communities. *Water International* 41(1):157-172. <https://doi.org/10.1080/02508060.2016.1108384>
- Stockholm Environment Institute. (2017). *Formulación y actualización del Plan Director de la cuenca del Río Rocha, bajo un enfoque de adaptación al cambio climático*. *Unpublished Report*. Cochabamba, Bolivia.
- Twyman, J., Muriel, J., García, M.A. (2015). Identifying women farmers: Informal gender norms as institutional barriers to recognizing women's contributions to agriculture. *Journal of Gender, Agriculture and Food Security* 1(2):1-17. <https://hdl.handle.net/10568/72487>
- van Koppen, B. (1998). Water rights, gender, and poverty alleviation. Inclusion and exclusion of women and men smallholders in public irrigation infrastructure development. *Agriculture and Human Values* 15(4):361-374. <https://doi.org/10.1023/A:1007537119163>

- Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. (2010). *Inventario Nacional de Presas. Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable*. La Paz, Bolivia. http://www.bivica.org/upload/presas-inventario_a.pdf
- von Benda-Beckmann, F., von Benda-Beckmann, K., Spiertz, H. (1997). *Local law and customary practices in the study of water rights*. In: Pradhan R, von Benda-Beckmann F, von Benda-Beckmann K, Spiertz HJL, Khadka SS, Azharul K (eds) *Water Rights, Conflict and Policy*. Colombo: International Irrigation Management Institute. p. 221–241. <http://publications.iwmi.org/pdf/H020134.pdf>
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., Huber-Lee, A. (2005). WEAP21 a demand, priority, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International* 30(4):487–500. doi:10.1080/02508060508691893
- Zwarteveen, M. (1997). *Water: From Basic Need to Commodity: A Discussion on Gender and Water Rights in the Context of Irrigation*. *World Development* 25(8):1335-1349.
- Zwarteveen, M. (2010). A Masculine Water World: *The Politics of Gender and Identity in Irrigation Expert Thinking*. In: Boelens R, Getches DH, Guevara JA (eds) *Out of the Maistream. Water Rights, Politics and Identity*. Earthscan, London, UK. Chapter 4, p. 75-95.

Como citar este artículo:

Terrazas L., Forni, L., Escobar M. (2020). Integrating equality in evaluation of water access for irrigation in an Andean community. *Aqua-LAC Volumen* 12(1), 42-58. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Actualidad de las técnicas de renovación de los sistemas de drenaje

Current Renewal Techniques of Drainage Systems



Manuel M. Cabrera Delgadillo^{1*}, Guadalupe Sánchez Campos¹,
Juan Carlos Mejía Suárez¹, Carmen Hernández Pastor¹

Recibido: 08/08/2019

Aceptado: 11/09/2019

*Autor de correspondencia

Resumen

La infraestructura de drenaje sanitario y pluvial, se ve afectado por eventos extraordinarios, tales como sismos y lluvias de alta intensidad en periodos cortos de tiempo, así como factores de edad de las tuberías y los problemas asociados a su localización, como la zona geotécnica, zona sísmica e incluso el tipo de calidad de agua que recibe de las aportaciones sanitarias. Cuando el sistema de drenaje llega a fallar, presentando socavones, encharcamientos o desbordamientos, es necesaria la evaluación de anomalías, que se clasifican en daños Graves, Importantes y Primarios, evolucionando con el paso del tiempo, debido a que las causas del deterioro siguen presentes y actuando, en detrimento del servicio que presta el drenaje. Ante el grado de falla es necesaria la rehabilitación de tuberías y elementos estructurales, por lo que se plantean tres acciones de renovación, que son: reparación, rehabilitación y sustitución. La mayoría de las acciones de renovación que se detallan, cuentan con normatividad ISO, esto con el fin de facilitar al diseñador, constructor y supervisor, sus correspondientes acciones. Se describen las acciones o técnicas de renovación, se mencionan ventajas y desventajas, respecto al mejoramiento que proporcionan desde la perspectiva hidráulica y estructural. La recomendación de la selección de la técnica de renovación, dependerá de aspectos tales, como rendimiento hidráulico, resistencia estructural ante cargas externas, para tubería rígida y flexible, revisión a presión interna, como criterios mínimos para una evaluación con certidumbre de largo plazo.

Palabras clave: Drenaje sanitario y pluvial, Daños, Anomalías, Renovación, Reparación, Rehabilitación Sustitución, ISO.

Abstract

The sanitary and rain drainage infrastructure is affected by extraordinary events, such as earthquakes and high intensity rainfall in short periods of time, as well as factors such as the age of the pipes and problems associated with their location, such as the geotechnical zone, seismic zone and even the type of water quality it receives from the sanitary contributions. When the drainage system fails, with sinkholes, water logging or overflows, it is necessary to evaluate the anomalies, which are classified as Serious, Important and Primary damage, evolving over time, because the causes of the deterioration are still present and acting, to the detriment of the service provided by the drainage. In view of the degree of failure, it is necessary to rehabilitate pipes and structural elements, so three renovation actions are proposed, which are: repair, rehabilitation and replacement. Most of the renovation actions detailed in this document have ISO standards, in order to facilitate the designer, builder and supervisor to carry out their corresponding actions. The renovation actions or techniques are described, and advantages and disadvantages are mentioned, with respect to the improvement they provide from the hydraulic and structural perspective. The recommendation for the selection of the renovation technique will depend on aspects such as hydraulic performance, structural resistance to external loads for rigid and flexible pipe, and internal pressure review, as minimum criteria for evaluation with long-term certainty.

Keywords: Sanitary and pluvial drainage, Damage, Anomalies, Renovation, Repair, Rehabilitation, Replacement, ISO.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de las grandes y antiguas urbes, por mantener un servicio de alcantarillado en condiciones óptimas de operación hidráulica y seguridad estructural, se han desarrollado diversas técnicas para la renovación de su función, que, en los últimos diez años, han avanzado de innovadoras tecnologías experimentales a métodos normalizados o estandarizados en materiales y procesos constructivos. Esto se ha reflejado principalmente en la serie de normatividad internacional ISO (International Organization for Standardization), BS EN ISO 11295 (ISO, 2010) y BS EN ISO 11296 1-7 (ISO, 2018) para la renovación de redes subterráneas de drenaje sanitario y pluvial sin carga de presión.

La problemática de las redes de drenaje sanitarias y pluviales, se refleja con la presencia de desbordamiento, encharcamientos o formación de socavones, derivado de la insuficiencia hidráulica y estructural de las tuberías, con efecto negativo en la salud pública y los bienes particulares y públicos.

Un caso particular de estudio es la Ciudad de México (CDMX), cuya infraestructura de drenaje que data de finales del siglo XIX, se encuentra presionada en su capacidad hidráulica por el dinámico crecimiento demográfico, además de la población flotante; afectada por fenómenos geotécnicos, principalmente hundimiento diferencial del suelo blando y sismos; agudizado por el deterioro causado por la erosión en las tuberías y estructuras de drenaje, debido a un medio atmosférico de gas o vapores de ácido sulfúrico, derivado también por la edad de los conductos y su falta de mantenimiento.

Debido a todos estos factores, el sistema de drenaje puede fallar de manera local, en un tramo parcial, o totalmente, cuando no es atendido en tiempo y forma correcta. Los daños clasificados como anomalías, se agrupan en tres categorías principales, siendo:

- Graves, agrupa anomalías que abarcan inexistencia (caverna), destrucción, colapso y fisuras de tubería, con exposición de terreno natural, además de tramos con contrapendiente presentando flujo a tubo lleno o con carga de presión.
- Importantes, se debe a desacoplamientos, dislocamientos, fisuras, grietas, importante erosión en plantilla y pared con exposición

del Acero de refuerzo de la tubería, que permiten infiltración y exfiltración del flujo, además de estancamiento.

- Primarias, daños por fisuras, grietas, erosión de pared (sin exponer el acero de refuerzo), desgaste en juntas o uniones, que no producen infiltración y exfiltración del flujo, conexiones a cuerpo de tubo (tratándose de colectores), y obstrucciones por basura o azolve.

Cuando no se da el mantenimiento necesario, las anomalías suben de categoría, partiendo de “Primarias” hasta “Graves”, pasando por “Importantes” con el paso del tiempo, debido a que las causas del deterioro siguen presentes y actuando, en detrimento del servicio que presta el drenaje. Ante este panorama, deben preverse medidas correctivas en un programa periódico de mantenimiento, que incluya una evaluación del deterioro de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial, que defina el proyecto de renovación del drenaje, acorde con la magnitud de la intervención, teniendo en opciones las siguientes acciones: a) Reparación, b) Rehabilitación y c) Sustitución, con las cuales se puede rehabilitar de forma local o por tramos, las tuberías y elementos que conforman el drenaje.

2. METODOLOGÍA

La inspección rutinaria de la red de drenaje es elemento de diagnóstico de suma importancia, y primordial para la detección oportuna de daños. Una vez detectado el tipo y magnitud de anomalía, es importante efectuar una evaluación integral, para la selección de alguna de las acciones de renovación, que incluya cuando menos la evaluación del estado físico y operacional de la estructura, mediante técnicas de video inspección, levantamiento topográfico y simulaciones hidráulicas de i) Estado actual del colector, ii) Estado futuro sin proyecto y iii) Estado futuro con proyecto, para así, con estos análisis mínimos, seleccionar el mejor método de renovación requerido para cada daño identificado, considerando también las limitaciones de las técnicas de Renovación. Una vez seleccionado el método de renovación se deberá revisar la estabilidad y resistencia estructural de la tubería, con el fin de asegurar un buen funcionamiento y conservación en el largo plazo.

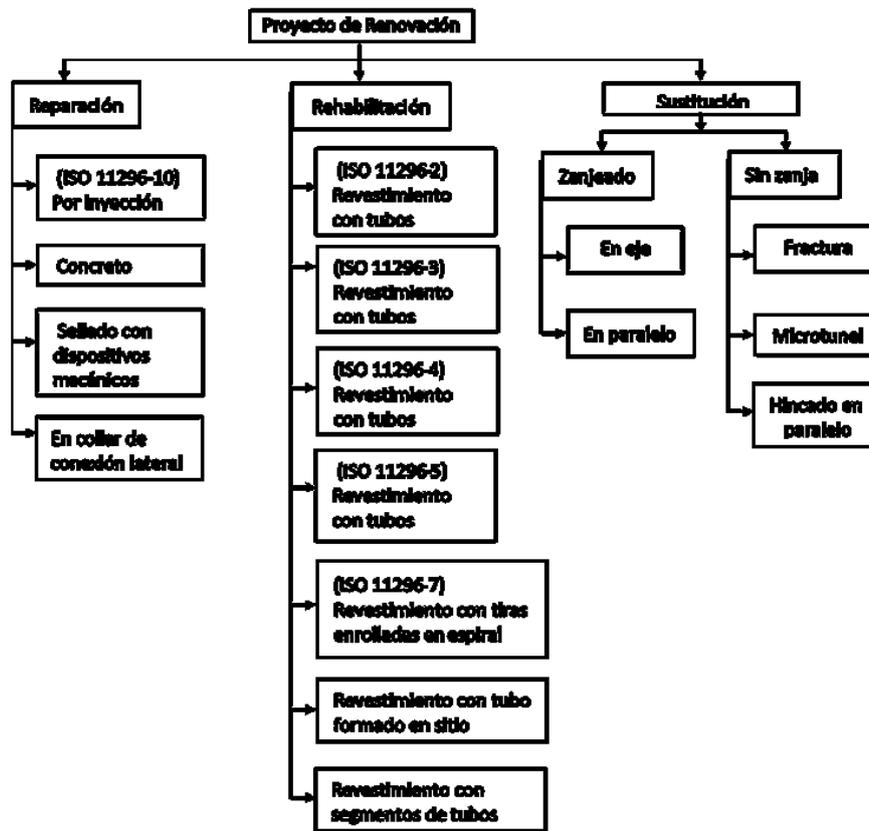


Figura 1. Concepto de acciones de renovación

En la Figura 1, se muestran las acciones de renovación recomendadas, debido a que cuentan con procedimientos normados en desempeño y evaluación, que aseguran la calidad de construcción.

Las técnicas de Reparación procuran rectificar anomalías Primarias a un daño local, tal como corrosión; las técnicas de Rehabilitación se basan en la intervención de una importante longitud de tubería con daños Importantes en el sistema de drenaje, por ejemplo, para el tratamiento de fisuras leves, sin poder atender dislocaciones o desacoplamientos; finalmente, las técnicas de Sustitución son aquellas en las que es necesario construir un componente nuevo dentro de la red de drenaje, debido a daños Graves e Importantes, como un colapso.

Se describen a continuación las acciones de renovación más comunes que se han usado alrededor del mundo, dentro de las cuales están las acciones de rehabilitación, cuya mayoría cuenta con procedimientos ISO, esto con la finalidad de facilitar al diseñador, constructor y supervisor sus

correspondientes actividades dentro de la renovación de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial.

3. TRABAJO EN CAMPO

3.1 Reparación

Por inyección (ISO 11296-10, en desarrollo)

El objetivo básico de esta técnica es la inyección de resinas, debido a su alcance está en revisión la versión final del procedimiento ISO 11296:10-2018, que incluye también el uso de morteros o lechadas, en la atención de las anomalías Primarias. Para emplear esta técnica, es muy importante la limpieza del sitio y evitar el contacto con el agua durante el tiempo de secado. Debe tenerse en cuenta que los procesos de inyección contemplan las tuberías de concreto, ladrillo o materiales plásticos y requiere el control con la prueba de hermeticidad o prueba de fugas antes y después de la reparación (Do Céu, M, et. al., 2015).

Consideraciones:

- a. Las lechadas pueden deshidratarse y encogerse si el nivel freático cae por debajo del nivel de plantilla de la tubería.
- b. Antes de elegir la rehabilitación por inyección, se deben determinar las necesidades de limpieza y extensión de orificios, la tubería libre de arena, sedimentos y otros materiales.

El tamaño de la tubería, el espaciado de las juntas y el porcentaje de grietas que se van a sellar, son factores que se deben tener en cuenta para determinar el costo del sellado químico.

Ventajas: restauración de hermeticidad; conservación de capacidad hidráulica y desempeño ambiental; abrasión y resistencia química; relleno de vacíos en juntas, fisuras y conexiones de desagües; espacio de trabajo superficial mínimo y acceso a través de pozos de visita o registros.

Desventajas: es necesaria la desviación del flujo; se usa en tuberías sin presión; no agrega propiedades extras a la tubería; y no es efectivo usar lechada para sellar grietas longitudinales o sellar grietas que se encuentren cerca de las juntas

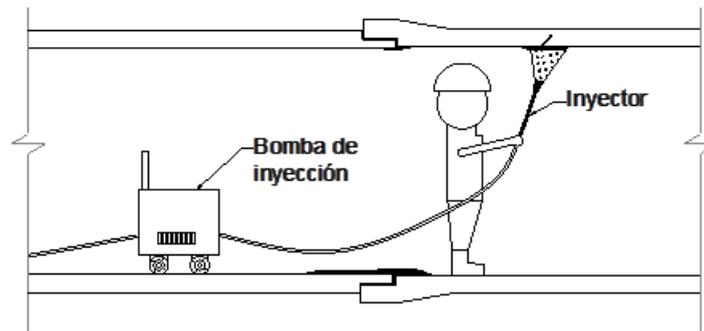


Figura 2. Esquema de reparación por inyección

Concreto lanzado

Consiste en reparar el recubrimiento por repellado, con o sin acero de refuerzo. La aplicación del revestimiento interior, requiere que la pared interior de la tubería esté completamente limpia, pulida y seca. En caso de deterioro local por corrosión, es necesaria la rectificación de la superficie.

Ventajas: mejora de capacidad hidráulica y mecánica; restauración de recubrimiento por adelgazamiento local; abrasión y resistencia ante agentes físicos, químicos y biológicos dependiendo de los materiales; mínimo espacio de trabajo y resistencia a presión externa de agua.

Desventajas: se usa en tuberías sin presión, tiempo de secado entre 12 y 24 horas; es necesaria la desviación del flujo; no resiste cambios súbitos de presión; requiere de preparación previa de la tubería; la calidad de la reparación depende de la correcta ejecución y control de procesos.

Sellado con dispositivos mecánicos

Consiste en colocar sellos apoyados con elementos metálicos (anclajes mecánicos), en tanto se logra la

adhesión entre el sello y el material de tubería. Mejora anomalías en juntas o fisuras radiales y problemas de fugas. La superficie debe estar lisa y uniforme para la instalación de los sellos.

Ventajas: mejora de hermeticidad; reducción no significativa de la capacidad hidráulica por disminución de diámetro; abrasión y resistencia química, dependiendo de los materiales; resiste a presión externa de agua; espacio de trabajo mínimo; y resiste sobrecargas de presión.

Desventajas: se usan en tuberías sin presión; es necesaria la desviación del flujo; reparación adecuada únicamente secciones circulares sin ovalamiento y requiere de preparación previa de la tubería.

3.2. Rehabilitación

Revestimiento con tubos continuos (ISO 11296-2)

El proceso de revestimiento con tubo liso, consiste en tirar o empujar una tubería de diámetro más pequeño, a través de tubería existente; la nueva tubería requiere de resistencia estructural adecuada para reemplazar la

tubería existente. El espacio entre tuberías se rellena con lechada para prevenir la intrusión de agua o gases y permitir la transferencia de cargas entre tuberías. El

revestimiento puede resultar en una reducción significativa del diámetro.

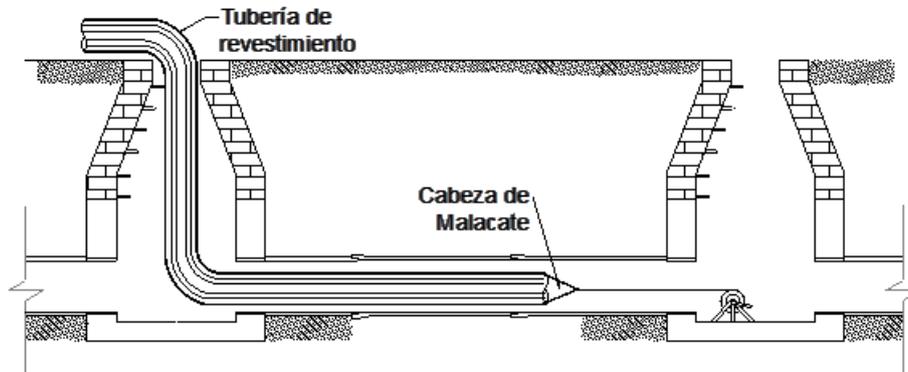


Figura 3. Esquema de rehabilitación con revestimiento con tubos continuos

Ventajas: revestimiento diseñado en espesor para resistir cargas externas o internas; rápida inserción y capacidad de renovación estructural completa; mejora de la capacidad hidráulica por disminución de rugosidad; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales.

Desventajas: se usa en tuberías sin o baja presión, no es aplicable en los pozos de visita; limitado a 2% de desviación con respecto a eje axial (restringido en curvas); disminución del área hidráulica; es necesaria la desviación del flujo y requiere de lechadas entre tubo existente y nueva tubería.

Revestimiento con tubos ajustados (ISO 11296-3)

Consiste en insertar un tubo de materiales flexibles que se adhiere a las paredes del tubo. El proceso puede llevarse a cabo a partir de dos opciones:

- El tubo por insertar se dobla durante la fabricación y es reducido hasta un 40% de su sección final. Durante la aplicación se expande con calor o presión que permita adherirse por completo a las paredes del tubo existente.
- El tubo por insertar se comprime con calor previamente a la instalación, reducido hasta el 10% de su sección total. Una vez dentro del tubo existente, se libera de la fuerza de compresión aplicada y es ajustado a la sección del tubo. Es necesario aplicar lechada para eliminar espacios que permitan el paso

de agua o gases entre paredes de tubería existente y nueva.

Ventajas: espacio de trabajo superficial mínimo; rápida instalación; mejora de la capacidad hidráulica; disminución de rugosidad; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales

Desventajas: no es aplicable en pozos de visita; y es necesaria la desviación del flujo.

Revestimiento con tubos curados in situ (ISO 11296-4)

La técnica de reparación de curado puede ser aplicada en juntas, fisuras radiales, fisuras longitudinales y anomalías locales. La instalación se lleva a cabo mediante la colocación de parches o mangas cortas de fieltro flexibles (que permiten la instalación alrededor de curvas), impregnadas con resina. Después de la instalación, la tela se cura para formar un nuevo tubo de un diámetro ligeramente más pequeño, pero de la misma forma que el tubo original. Finalmente se reabren las conexiones. La nueva tubería no tiene juntas ni costuras y tiene una superficie interior lisa que mejora la capacidad de flujo. Se pueden usar resinas de vinil-éster cuando se requiera una resistencia superior a la corrosión a altas temperaturas. Las resinas epóxicas se utilizan únicamente para la adhesión en la tubería existente.

Ventajas: conservación de capacidad hidráulica y desempeño ambiental; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales; restauración de hermeticidad local; las resinas especiales

proporcionan resistencia a los ácidos; sellado de fugas mecánicamente; mínimo espacio de trabajo; resistente a presión externa de agua; es adecuado para reparar tuberías ubicadas bajo estructuras existentes, donde es necesario minimizar la interrupción del tráfico, ya que usualmente no se requiere excavación.

Desventajas: se usan en tuberías sin presión interna; requiere de preparación previa de la tubería; baja restauración de comportamiento estructural; es necesaria la desviación del flujo y temperatura máxima del efluente a 82° C.

Revestimiento con tubos discretos (ISO 11296-5)

Consiste en introducir tramos de tubo nuevo dentro del tubo existente. Los tubos deben tener un diámetro menor, y deben de insertarse uno por uno, por medio de un malacate, asegurando su unión con membranas, soldadura o juntas. Se recomienda que la nueva tubería quede fijada y sellada con la tubería existente, evitando la circulación de agua o gases peligrosos entre tuberías, además de transferir las cargas a lo largo de la tubería. Con ello se previene un colapso posterior. Ventajas: Ideal en tuberías y pozos de visita; rápida instalación; la resistencia estructural no depende de la adherencia; y el tipo de junta es significativo en el funcionamiento; disminución de la rugosidad; abrasión y resistencia química, dependiendo de los materiales. Desventajas: es necesaria la desviación del flujo; disminución del área hidráulica.

Revestimiento con tiras enrolladas en espiral (ISO 11296-7)

Consiste en construir un nuevo tubo dentro del existente, a partir de unas tiras plásticas ajustables. Para asegurar la hermeticidad de la tubería,

regularmente se aplica una lechada de mortero, además, se sugiere rellenar los espacios entre tuberías para evitar el ingreso de agua o gases peligrosos y la transferencia de cargas para prevenir el colapso.

Ventajas: la técnica no requiere de adhesión al tubo existente; disminución de la rugosidad; rehabilitación de la capacidad estructural; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales, dependiendo del proceso y rapidez no requiere de una desviación importante del flujo.

Desventajas: se usan en tuberías sin presión y en pozos de visita; normalmente se aplica lechada de mortero para asegurar hermeticidad; y requiere de preparación previa de la tubería original; disminución de la capacidad hidráulica por reducción en la sección.

Revestimiento con segmentos de tubos

Consiste en construir un nuevo tubo dentro del existente, a partir de segmentos prefabricados, introducidos por el pozo de visita o excavaciones locales. Esta técnica es similar al revestimiento con tubo continuo. Las uniones mecánicas son ajustadas al tubo existente, mediante soldadura y anclas.

Ventajas: superficie de trabajo sin restricciones especiales; disminución de rugosidad; rehabilitación de capacidad estructural, restablecimiento de la pendiente; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales.

Desventajas: se usan en tuberías sin presión; dificultad para la unión y asegurar la hermeticidad entre segmentos; regularmente necesita lechada; y es necesaria la desviación del flujo; disminución de la capacidad hidráulica por reducción de la sección circular.

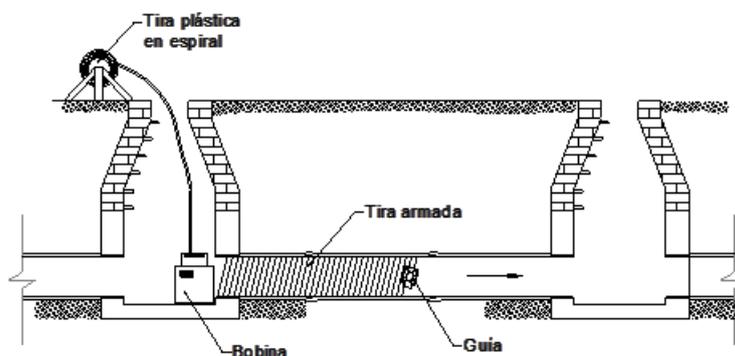


Figura 4. Esquema de rehabilitación por tiras enrolladas en espiral

3.3. Sustitución

Zanjeado en eje

La sustitución de tubería mediante zanja, es el método más común utilizado para la rehabilitación de tuberías y pozos. La técnica contempla la construcción de una nueva tubería en el mismo sitio a reemplazar; puede ser parcial en donde se retira gradualmente la tubería existente e instala la nueva tubería reduciendo el impacto en la sociedad. Es necesario el desvío del flujo, manteniendo una conducción superficial y alineada al tramo por remplazo, impulsada por bombeo, que mantiene el funcionamiento de la red hasta que se tengan las condiciones necesarias para enlazar el nuevo tramo construido, con el resto de la red.

Ventajas: flexibilidad y adaptación a nuevas condiciones hidrológicas, profundidad y tipo de suelo; incremento de la capacidad hidráulica; rehabilitación total de la capacidad estructural y restablecimiento de la pendiente; abrasión y resistencia química dependiendo de los materiales.

Desventajas: requiere espacios amplios de trabajo; es necesaria la desviación del flujo; costos en excavación, apuntalamiento y saneamiento del entorno de la obra; requiere un estudio previo de suelos; alteración de acceso a propiedades residenciales, comerciales e industriales; implicaciones sociales y de salud; y alteración del tráfico vial.

Zanjeado en paralelo

La rehabilitación de tuberías por reemplazo en paralelo, es una técnica usada para sustituir la tubería existente por un trazo en la misma dirección. En este caso, el grado de deterioro, las condiciones técnicas y el costo, no son factibles para reemplazar en el mismo sitio. En su mayoría, se construye una zanja a cierta distancia del tramo original y se realizan las obras sin desarticular el resto de la red de tuberías en funcionamiento. Una vez que la tubería nueva cumpla con las condiciones necesarias, es conectada para su funcionamiento.

En todos los casos donde se lleve una rehabilitación de tubería en paralelo y de todas las tuberías de drenaje en desuso, se recomienda eliminar todo tipo de riesgos que puedan generar hundimientos, socavones o contaminación. Por ello, es de vital importancia rellenar las tuberías abandonadas con

material estructuralmente sólido y sellarlas, evitando la proliferación de fauna nociva.

Sin zanja. Microtúnel

Consiste en empujar tubería nueva, guiada por un sistema láser, barreno o escudo de acero giratorio. Existen diversos métodos de microtunelado, dependiendo del escudo que sea empleado.

Microtunelado con escudo de presión: El barreno excava la zona y transporta el material a una zona de vaciado. Por lo regular los escudos empleados son para diámetros superiores a 1400 mm.

Microtunelado con hidro-escudos y lodos: El material excavado es transportado a un área especial de mezclado con lodos y se realiza una separación de sólidos. Con dicho proceso es posible reciclar el lodo y nivelar áreas con suelos blandos. Funciona para diámetros entre 150 mm y 3000 mm, con longitudes mayores a 2.5 km.

Todos los dispositivos son controlados de forma remota, nivelando la pendiente y alineación. Por lo regular el proceso se lleva a cabo entre dos pozos.

Ventajas: flexibilidad y adaptación a nuevas condiciones hidrológicas, profundidad y tipo de suelo; se usa en tuberías sin presión, tuberías a presión y pozos de visita.

Desventajas: requiere un estudio previo de suelos; y requiere espacios amplios de trabajo.

Sin zanja. Hincado en paralelo

El hincado de tubería en paralelo, consiste en el empuje de tubos, sin remoción de suelo, con trazo similar a la tubería existente. La diferencia entre hincado y Microtunelado, es que para el hincado se requiere operadores, mientras que con microtuneladora, el equipo es operado vía remota.

Esta técnica se recomienda para diámetros entre 150 mm y 3000 mm, y materiales prefabricados. Generalmente consiste en tubos de concreto reforzado, diseñados para resistir el empuje y las cargas del suelo, los tubos son limitados hasta tres metros de longitud para evitar pandeo. Durante el proceso, se instalan taladros metálicos a los tubos, para facilitar la instalación. El equipo empleado para el empuje, consiste en cilindros hidráulicos, gatos hidráulicos, escudo y corona que realiza la perforación en el suelo.

Ventajas: capacidad de instalación en zonas concurridas y de alto tránsito.

Desventajas: dificultad de precisión en trazo; y dificultad de aplicación en suelos saturados, con niveles freáticos someros.

3.4. Cálculos requeridos para la especificación de los materiales

Es imperativa la consulta de estándares o normas referentes a la resistencia interna y externa de materiales y tipos de tuberías, para los análisis siguientes considerados como básicos, por lo que es

recomendable la revisión de otros requisitos de desempeño.

Análisis de resistencia y capacidad de carga de la tubería

La resistencia de la tubería ante cargas externas, depende del tipo de tubería a emplear, teniendo:

Tubería rígida (concreto). El uso de tubería de concreto deberá de contemplar la evaluación de la Carga Actuante W_a considerando carga viva y muerta y la carga de Resistencia a la Primera Grieta (RPG_{MIN}); si el valor de la carga resistente es mayor a la carga actuante, se entiende que la tubería resiste.

$$RPG_{MIN} \geq W_a \quad (1)$$

Tubería flexible (plástica). La revisión por resistencia estructural se basa en tres parámetros esenciales en el análisis y diseño de cualquier enterramiento de un conducto flexible: 1) Cargas muertas y vivas, 2) Módulo de reacción del suelo y 3) La rigidez de la

tubería. Estos tres elementos se sintetizan en la ecuación conocida como de IOWA Modificada (Moser, 2008), que permite evaluar la deformación del diámetro:

$$\frac{\Delta y}{D_n} = \frac{(DL(W_c) + W_L)K}{(0.149PS + 0.061E') * 101.97} \quad (2)$$

donde

- Δy es la deformación del diámetro, en m
- DL es el factor de deflexión de retraso, adimensional con valor de 1.5
- W_c es la carga muerta sobre la tubería, en kg
- W_L es la carga viva sobre la tubería, en kg
- K es el coeficiente de plantilla, adimensional
- PS es la rigidez de la tubería, en kPa
- E' es el módulo de reacción del suelo, en kPa

Revisión a presión interna

Para tuberías de drenaje plásticas que se encuentren sometidas a carga de presión, es decir, niveles de operación de flujo entre la clave (nivel superior interior) de la tubería y la superficie del terreno, sin desbordar; o por impulsión del flujo mediante equipo

de bombeo. Que son mayores a las presiones de la prueba de hermeticidad, resulta necesario determinar el espesor de pared. Para esto se utiliza la ecuación siguiente en términos del diámetro exterior y el espesor de pared:

$$CP = \frac{2e(HDB)(FD)}{De - e} \quad (3)$$

donde

- CP, es la Clase de Presión, en MPa
- HDB es la base de diseño hidrostático, en MPa

FD, es el Factor de Diseño con valor de 0.5 para PEAD y PVC ($FD=1/FS$), adimensional
 FS es el Factor de Seguridad, adimensional
 De, es el Diámetro exterior, en m
 e, es el Espesor de pared, en m

4. RESULTADOS

La selección de una técnica de rehabilitación, debe considerar, entre otros aspectos:

- La evaluación del desempeño actual, la cual comprende el conocimiento de las anomalías de cada componente y la identificación de los requisitos de funcionalidad deseados.
- El rendimiento hidráulico, estructural, ambiental y operacional.
- Los métodos de rehabilitación y reparación pueden ser utilizados para casos en los que el estado físico de la tubería presenta daños tales como, erosión y deterioro considerable de pared y obstrucciones sin presencia de infiltración o exfiltración del flujo. Mientras que, los métodos de sustitución son requeridos en presencia de anomalías identificadas como destrucción de

tuberías, flujo a tubo lleno o en contrapendiente dislocamientos, fisuras y erosiones que permitan la filtración o exfiltración del flujo.

- La identificación de las opciones de rehabilitación factibles, involucra el espacio público, tráfico vehicular, injerencia con otras infraestructuras y costos.

Por otro lado, los costos de retirar y sustituir la nueva tubería, y la suspensión del servicio cuando son ejecutadas las obras de zanjeado, determinan la realización de un análisis riguroso de qué técnica debe ser empleada en el sitio. Dicho análisis, únicamente corresponde a un sitio en particular, por lo que no puede ser extensivo en todos los casos de rehabilitación.

En la tabla 1 se muestra el resumen de las características para cada una de las acciones de renovación:

Tabla 1. Resumen de características de las técnicas de rehabilitación

| Técnica | Resistencia estructural | Capacidad de flujo | Hermeticidad | Diámetros recomendados (mm) |
|---|-------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------|
| Reparación | | | | |
| Reparación por inyección | | | Mejora | 150 -750 |
| Reparación de curado en sitio | | | Mejora | 100 |
| Reparación con concreto lazado | Mejora | Mejora | Mejora | 150 |
| Reparación por sellado con dispositivos mecánicos | | | Mejora | 150 |
| Renovación | | | | |
| Revestimiento con tubo continuo | Mejora | Disminuye | Mejora | 100-2000 |
| Revestimiento con tubo ajustado | Mejora | | Mejora | 100-2800 |
| Revestimiento con curado in situ | Mejora | | Mejora | 100-2800 |
| Revestimiento con tubos discretos | Mejora | Disminuye | Mejora | 100-4000 |
| Revestimiento con tiras en espiral | Mejora | Disminuye | Mejora | 100-4000 |
| Revestimiento con segmentos de tubo | Mejora | Mejora | Mejora | 100-4000 |
| Sustitución | | | | |
| Zanjeado | Mejora | Mejora | Mejora | - |
| Sustitución sin zanja | Mejora | Mejora | Mejora | - |

Fuente: Do Céu, M, et. al. (2015).

5. DISCUSIÓN

La importancia del sistema del alcantarillado consiste en dotar de un servicio de calidad a la población, con el fin de evitar problemas de salud pública o daños materiales, por lo cual resulta imperativo el cumplimiento de la normatividad con relación a la calidad del agua de las descargas y hermeticidad del sistema. Para esto, es necesario llevar a cabo tanto el mantenimiento como inspecciones periódicas, con el fin de detectar fallas de manera oportuna y darles un tratamiento adecuado, empleando una metodología de evaluación de la situación actual o sin proyecto y un análisis tanto hidráulico como estructural, con la técnica de renovación seleccionada, para la medida de beneficios al funcionamiento.

En la actualidad se encuentran en proceso nuevas tecnologías que permiten la rehabilitación del sistema de drenaje, pero aún no son recomendables, ya que la mayoría de estas nuevas tecnologías no se encuentran normalizadas y, por lo tanto, no se tiene garantía de un buen desempeño, así como del conocimiento de sus limitantes de aplicación. Además, puede existir un conflicto de intereses por la escasa competencia de distribuidores de estas nuevas tecnologías que elevarían los costos del mercado. Por tal motivo se recomienda que cualquier acción de renovación que se seleccione cuente con un procedimiento normalizado por ISO, ASTM o alguna norma similar a estas.

REFERENCIAS

- ISO (2010), BS EN ISO 11295 Classification and information on design of plastics piping systems used for renovation. Vernier, Geneva, Switzerland
- ISO (2018), ISO 11296-1:2018. Plastics piping systems for renovation of underground non-pressure drainage and sewerage networks. Part 1: General; Part 2: Lining with continuous pipes; Part 3: Lining with close-fit pipes; Part 4: Lining with cured-in-place pipes; Part 5: Lining with discrete pipes; Part 7: Lining with spirally-wound pipes; Part 8: Lining with pipe segments; Part 9: Lining with a rigidly anchored plastics inner layer; Part 10: Lining with sprayed polymeric materials. Vernier, Geneva, Switzerland.
- Do Céu, M, et. al. (2015) Rehabilitation of sewers and manholes: technologies and operational practices DOI: 10.13140/RG.2.1.3207.0005.
- Moser, A. P., Steve Folkman (2008), Buried Pipe Design, Mc Graw Hil, USA. DOI: 10.1036/007147689X.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al momento de seleccionar el método de renovación, es importante tomar en cuenta cada una de sus ventajas y desventajas, así como sus restricciones, ya que se debe realizar de manera particular, de acuerdo a las condiciones urbanas, estructurales e hidráulicas del componente del sistema que se pretende mejorar.

Los métodos de rehabilitación y reparación no solucionan los problemas ocasionados por el deslave del suelo circundante del elemento (Acostillado), por lo cual resulta necesario contemplar como una solución integral, alguno de los métodos de sustitución para proporcionarle estabilidad estructural al elemento mediante plantillas y acostillados adecuados a la zona geotécnica, en donde se ubique, para garantizar el buen funcionamiento hidráulico y estructural, esto aplicable a los casos más desfavorables, donde la capacidad estructural de la tubería se encuentra comprometida o se carece de esta (cavernas). Al considerar un método de rehabilitación para estos casos se da una solución parcial al problema, ya que inevitablemente este tendrá reincidencia a través del tiempo. Dentro de la solución integral se podrá considerar incluso hasta un nuevo trazo y desarrollo vertical, si se observa que las características geotécnicas, sísmicas o de hundimiento son más favorables, que el trazo que se tiene actualmente; mejorando la cobertura de servicio, rendimiento hidráulico, estabilidad estructural, como opción de estudio de alternativa, junto con el análisis de una acción de sustitución.

Como citar este artículo:

Cabrera, M., Sánchez, G., Mejía, J., Hernández, C. (2020). Actualidad de las técnicas de renovación de los sistemas de drenaje. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 59-69. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Prospección Geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica del acuífero transfronterizo Ocotepique-Citalá (ATOC), Región Trifinio, El Salvador-Honduras

Geophysical prospecting as a tool for the hydrogeological characterization of the Ocotepique-Citalá transboundary aquifer (ATOC), Trifinio Region, El Salvador-Honduras

César Armando Alvarado Batres^{1*}, Luis Adrián Mayén Flamenco²,

Recibido: 21/11/2019

Luis Alfonso Castillo Ramos¹

Aceptado: 07/04/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

La exploración geofísica, se dedica a estudiar las propiedades físicas del subsuelo; normalmente, es utilizada en la búsqueda de recursos naturales tales como: petróleo, agua subterránea, minerales metálicos, yacimientos geotérmicos, etc. En otras ocasiones se utiliza para investigaciones arqueológicas; determinación de estructuras de aguas residuales y tuberías de abastecimiento de agua potable (cuando no se tienen planos del diseño). Las aplicaciones son muy diversas y existen varios métodos aplicables, que utilizan diferentes propiedades físicas de la materia tales como: el electromagnetismo, resistividad eléctrica, propagación de ondas (sísmicas), atracción gravitacional (gravimetría). Dichas propiedades, están íntimamente relacionadas con las características del subsuelo y la naturaleza geológica de los materiales en profundidad. Ayudan a localizar y algunas veces determinar las dimensiones del recurso buscado. Esta investigación aborda el caso de los métodos geoelectrónicos aplicados a la exploración hidrogeológica. Para realizar este tipo de exploración, se requiere de una fuente de corriente directa, que se pueda manipular la cantidad de corriente que se inyecta al subsuelo, y un voltímetro, capaz de detectar las diferencias de potencial que se generan al inyectar la corriente. Este, se conoce como el método de las cuatro puntas. A partir de los valores de corriente y diferencia de voltaje que se obtienen, se procede a calcular la resistividad eléctrica del subsuelo.

Palabras clave: Prospección Geofísica, Hidrogeología, Acuífero Transfronterizo.

Abstract

Geophysical exploration is dedicated to studying the physical properties of the subsoil; normally, it is used in the search for natural resources such as: oil, underground water, metallic minerals, geothermal deposits, etc. On other occasions it is used for archaeological investigations; determination of wastewater structures and drinking water supply pipes (when there are no design plans). The applications are very diverse and there are several applicable methods, which use different physical properties of matter such as: electromagnetism, electrical resistivity, wave propagation (seismic), gravitational attraction (gravimetry). These properties are closely related to the characteristics of the subsoil and the geological nature of the materials in depth. They help locate and sometimes determine the dimensions of the resource sought. This research addresses the case of geoelectric methods applied to hydrogeological exploration. To carry out this type of exploration, a direct current source is required, which can manipulate the amount of current injected into the subsoil, and a voltmeter, capable of detecting the potential differences that are generated by injecting the current. This is known as the four-pointed method. From the values of current and voltage difference obtained, the electrical resistivity of the subsoil is calculated.

Keywords: Geophysical Prospecting, Hydrogeology, Transboundary Aquifer.

1 Universidad de El Salvador. El Salvador. cesar.alvarado2@ues.edu.sv, luis.castillo@ues.edu.sv

2 Consejo Nacional de Energía. El Salvador. a.mayen17@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2013, la Agencia Suiza de Desarrollo y Cooperación (COSUDE, por sus siglas en inglés) ha otorgado al Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (UNESCO-PHI), en cooperación con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la ejecución del programa “Gobernanza de Aguas Subterráneas en Acuíferos Compartidos” (GGRETA por las siglas en inglés de Governance of Groundwater Resources in Transboundary Aquifers) en la región Trifinio. Entre las componentes a desarrollar del programa está la identificación de los límites y propiedades del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque – Citalá (ATOC), el cual es compartido por los países de Honduras y El Salvador.

A iniciativa de UICN, el proyecto GGRETA planteó crear alianzas entre las instituciones académicas de los países conformantes del Trifinio del Triángulo Norte Centroamericano, es entonces que se dan los acercamientos con el Grupo de Investigación en Hidrogeología de la Universidad de El Salvador (GIH

– UES). Los acercamientos y acuerdos llevaron a coordinar y apoyar la investigación para definir el modelo conceptual hidrogeológico para el ATOC como contribución al proyecto GGRETA, el cual conlleva una importante parte de adquisición de datos geofísicos.

De esta manera, los días del 11 al 15 de marzo de 2019, se llevó a cabo la campaña geofísica en el ATOC, el objetivo principal de la campaña fue coleccionar información de resistividad eléctrica en puntos estratégicos que pudiesen aportar información para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual. Así, se realizaron 13 perfiles de Tomografías Eléctricas 2D (TE2D), las cuales utilizan el mismo principio que los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con la variante que estos aportan información en forma de imágenes de secciones transversales del subsuelo que permiten visualizar la distribución de las diferentes unidades rocosas, y por ende unidades acuíferas, por medio de los valores de resistividad que estas poseen.

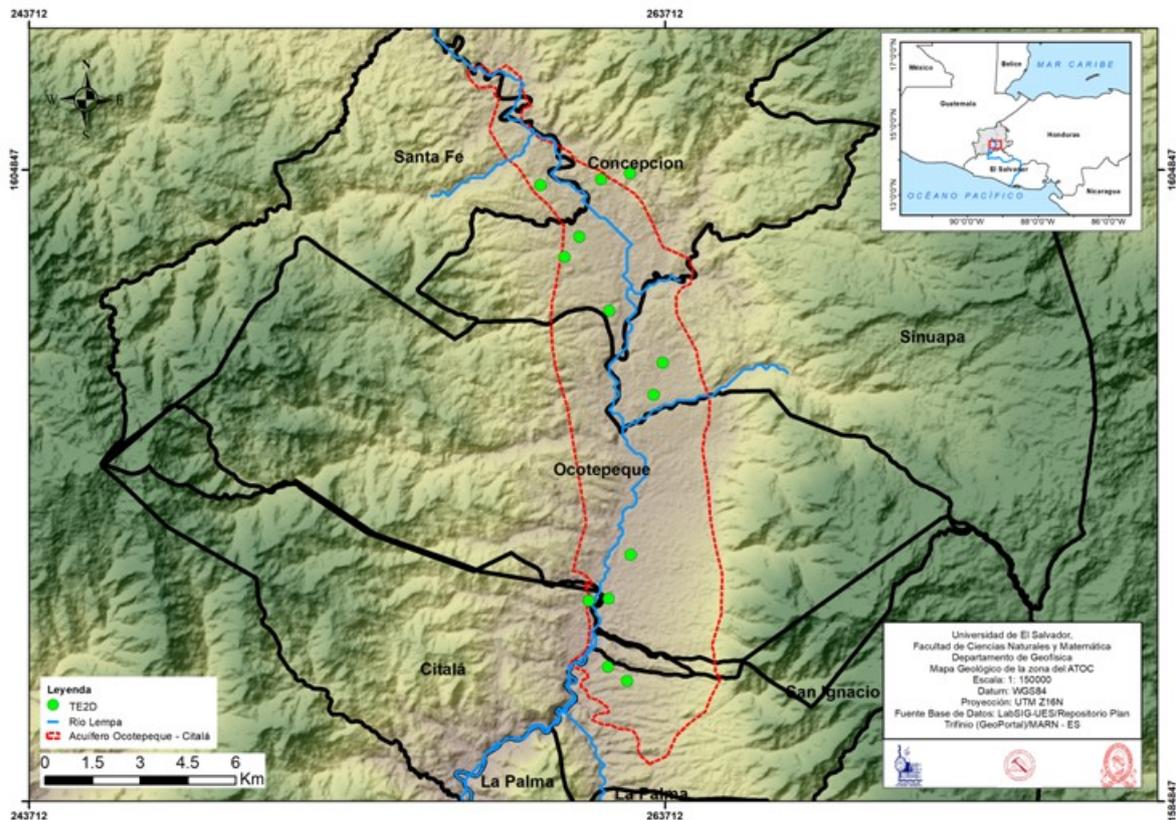


Figura 1. Muestra la delimitación del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque-Citalá y la ubicación de todos los perfiles realizados durante la campaña geofísica 2019

Los resultados obtenidos por las TE2D permitieron delimitar espesores de secciones acuíferas relacionadas al ATOC, regiones donde la saturación es superior e inferior, regiones en las cuales el nivel freático se encuentra a niveles más superficiales y otros a niveles con profundidades altas. Esta información será parte de la información necesaria para la creación del Modelo Hidrogeológico Conceptual en conjunto con variables de permeabilidad, niveles de pozo, climatología, entre otros factores de interés.

En el presente documento se detallan los resultados de cada uno de los perfiles de TE2D realizados en las localidades de Santa Fe, Concepción, Sinuapa, Ocotepeque, en Honduras y, Citalá y San Ignacio, El Salvador. La interpretación de los resultados debe de considerarse preliminar, dado que los datos no poseen aún la incorporación de topografía y correlación con litológica con pozos y testigos rocosos cercanos.

2. ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN

El Acuífero Transfronterizo Ocotepeque – Citalá (ATOC) ha venido siendo de interés público desde

hace algunos años atrás, las investigaciones científicas – técnicas realizadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA & Plan Trifinio, 2009), UICN (UNESCO-PHI/UICN, 2016) y otros autores relatados en el marco teórico han permitido obtener información base para la identificación de diferentes características del acuífero, así como la consolidación de repositorios de datos que enriquecen la información de la zona. La metodología del trabajo de prospección geofísica se apega a los objetivos que se plantearon, y de esta manera los resultados obtenidos cuentan con información documentada que permite un respaldo de las conclusiones emitidas en el documento. En este caso se enfoca la metodología de trabajo de prospección geofísica que se detalla a continuación:

Durante el periodo de tiempo de colecta de datos se realizaron 13 tomografías eléctricas 2D (Figura 1); la selección de los lugares de realización de estas fue basada en la facilidad de acceso, pendiente del terreno, geología, tipo y uso de suelo, distribución espacial e importancia de adquisición de datos en la zona. La Tabla 1 resume los puntos centrales de las TE2D correspondientes a esta investigación.

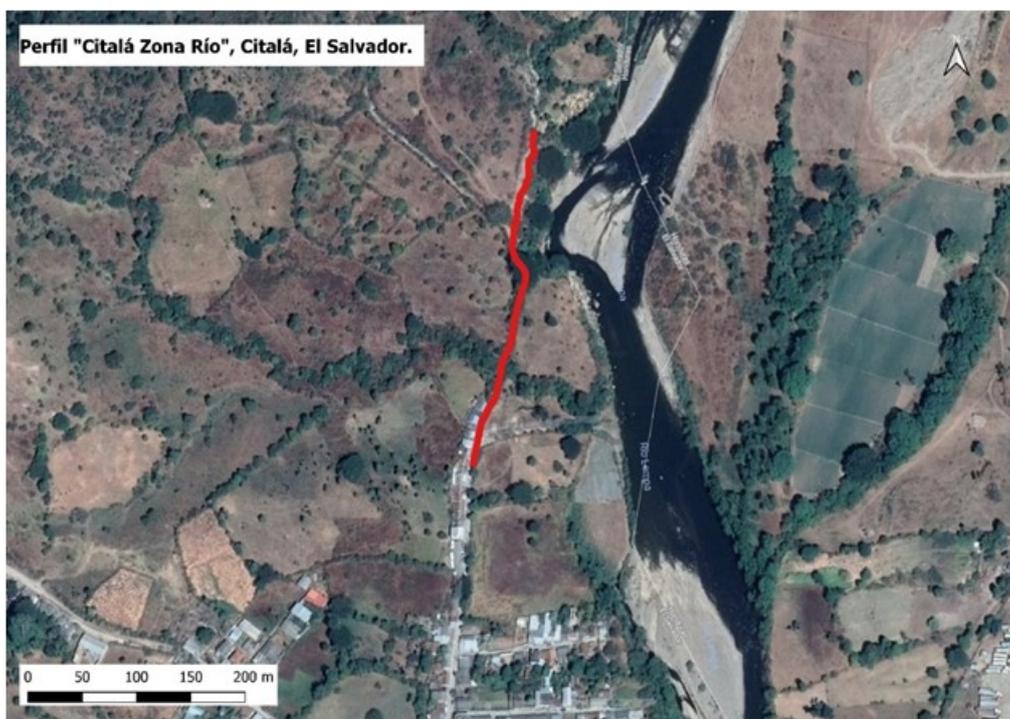


Figura 2. Perfil correspondiente a Citalá Río (Línea Roja), extensión de 300 metros debido a la cercanía del río Lempa. (Fuente: Elaboración Propia)

Las tomografías que cuentan con una longitud de 200 m. corresponden a sitios en donde el cauce del Río Lempa era relativamente cercano (Figura 2), por lo que la existencia de un nivel freático era más probable para detectar con las mediciones de resistividad, o también por las características del terreno, esto puede referirse a sitios con alto tránsito de vehículos, centros urbanos o existencia de pastizales con animales que comprometían la recolección exitosa de datos.

Para cada TE2D se georreferencio cada una de las líneas de toma de datos, con el propósito de incluir, de ser necesario, la topografía en la inversión e interpretación de los datos de cada una de ellas.

Como se detalla en la Tabla 15 los protocolos electródicos utilizados en la campaña de recolección de datos de campo fue el Wenner – L y el Wenner 32 SX, estos protocolos están incluidos dentro de la configuración del Lund Imaging System, y proporcionan una toma de datos ordenada y automática en campo. Cada una de las mediciones

tomó alrededor de 40 – 60 minutos, dependiendo de la extensión y configuración electródica seleccionada.

En algunos casos, el terreno presentaba resequeidad por lo que se realizó la “hidratación” de los electrodos inyectores de corriente y de medición de voltaje a partir del uso de una bomba de agua con solución salobre (Figura 3), dicha solución ayuda a que la inyección de corriente sea más fácil en cada uno de los puntos.

Todas las TE2D se realizaron dentro de los límites del ATOC, a excepción de la ATOC-004 que se realizó en una región próxima dentro de la jurisdicción del municipio de Concepción, Honduras; esta TE2D sirvió para analizar los valores en zonas no acuíferas de la región de la CARL. Además, la tomografía ATOC – 003, se realizó en la región de transición entre la región acuífera y la no acuífera; gracias a la configuración utilizada se pueden realizar interpretaciones y análisis de las condiciones en zonas de transición del ATOC.



Figura 3. Proceso de hidratación de electrodos durante la toma de datos de resistividad eléctrica

Tabla 15. Resumen de las características principales de las Tomografías Eléctricas 2D realizadas en la campaña de campo (Fuente: Elaboración Propia)

| ID | Nombre | Municipio | País | X | Y | Z | Arreglo | Longitud [m] | Espaciamiento [m] |
|----------|--------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-----|---------------------------|--------------|-------------------|
| ATOC-001 | San Ignacio 1 | San Ignacio | El Salvador | 262664.47 | 1588491.2 | 833 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-002 | La Vuelta | San Ignacio | El Salvador | 261999.78 | 1588878.72 | 776 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-003 | Citalá Río | Citalá | El Salvador | 261316.93 | 1591120.28 | 730 | Wenner 32 SX (Roll along) | 300 | 5 |
| ATOC-004 | Zacamil | Concepción | Honduras | 262582.34 | 1604622.82 | 964 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-005 | Concepción Pozo | Concepción | Honduras | 261717.56 | 1604403.66 | 836 | Wenner 32 SX | 200 | 5 |
| ATOC-006 | Santa Fe Graveyard | Santa Fe | Honduras | 259781.84 | 1604333.3 | 872 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-007 | Relleno Sanitario | Concepción | Honduras | 262027.97 | 1600250.32 | 826 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-008 | Sinuapa Graveyard | Sinuapa | Honduras | 263338.86 | 1597609.21 | 808 | Wenner 32 SX | 200 | 5 |
| ATOC-009 | Santa Anita Arriba | Concepción | Honduras | 260585.89 | 1601995.11 | 874 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-010 | Santa Anita Abajo | Concepción | Honduras | 261181.07 | 1602515.06 | 819 | Wenner – L | 400 | 10 |
| ATOC-011 | Sinuapa Cultivos | Sinuapa | Honduras | 263612.57 | 1598661.07 | 811 | Wenner 32 SX | 200 | 5 |
| ATOC-012 | Antigua Ocotepeque | Nueva Ocotepeque | Honduras | 262631.36 | 1592558.76 | 759 | Wenner 32 SX | 200 | 5 |
| ATOC-013 | El Poy HN | Nueva Ocotepeque | Honduras | 261943.65 | 1591157.31 | 726 | Wenner 32 SX | 200 | 5 |

3. MATERIALES Y EQUIPO

Uno de los nuevos métodos desarrollados en años recientes es el uso de la Tomografía Eléctrica 2-D (Electrical Tomography) o también llamada Imágenes Eléctricas (Electrical Imaging), que pueden obtener mejores resultados que otros dispositivos en áreas con geología moderadamente compleja (Griffiths, 1990). Tales prospecciones se efectúan comúnmente usando un número grande de electrodos, 25 o más, conectado a un cable multi-conductor.

El dispositivo de medida empleado fue un resistímetro de corriente alterna de baja frecuencia, fabricado por la compañía ABEM Instruments modelo Terrameter SAS 1000, equipo de alta confiabilidad, y con separación entre electrodos de 5 metros, lo cual permite investigar con gran detalle hasta una profundidad en torno a 50 – 60 metros. En resumen los materiales utilizados para la investigación y la fase de ejecución se explican a continuación:

1. Resistímetro marca Terrameter SAS 1000 y selector (Figura 33).
2. Ochenta electrodos de acero.
3. Cuatro carretes de cables para los electrodos de potencial y de corriente.
4. Conectores.
5. Cintas métricas, calculadora, lápiz y goma.

4. ETAPAS DEL TRABAJO DE CAMPO

1. Se eligió el lugar de prospección de acuerdo a las características topográficas del lugar, ya

que se debe de considerar una abertura de al menos 200 metros planos.

2. Se indicó el punto central de la Tomografía eléctrica y del arreglo.
3. Se orientó el arreglo tratando de asegurar su linealidad.
4. Se midieron hacia ambos lados del arreglo 100 metros, indicando los puntos donde deberían de clavarse los electrodos.
5. Se fueron clavando los electrodos guardando una distancia entre cada uno de ellos de 5 metros.
6. Se instaló el Terrameter SAS 1000 y el selector; posteriormente se comenzó a tomar lecturas, checando que el error fuera menor que 1%.
7. Los datos registrados se guardaron en el equipo Terrameter SAS 1000.

La tomografía eléctrica es un mapa de contornos de datos geoelectrónicos, que se adquieren con el método eléctrico que permite la adquisición de valores de resistividad aparente en dos dimensiones utilizando los dispositivos de electrodos más comunes, conocidos en el área de los métodos de prospección eléctrica del subsuelo, tales como Schlumberger, Wenner y dipolo-dipolo (ABEM Instrument, 2009). La teoría del funcionamiento de los dispositivos electrodo muestra como los sondeos eléctricos verticales obtienen datos de resistividad aparente bajo un punto de la superficie de estudio y como con cada medida se adquieren datos a mayor profundidad. Los datos proporcionados por este método están distribuidos de manera vertical, por lo que se desconoce la información existentes en los laterales al punto sondeado; con las mediciones realizadas con

una tomografía eléctrica, se amplía la cantidad de información obtenida, ya que no solo se toma datos bajo este punto, sino que además permite tener medidas laterales al mismo tiempo.

El programa utilizado para la inversión de datos es RES2DINV, que además de permitir invertir con topografías los datos bidimensionales de resistividad aparente resolviendo el problema directo por el método de elementos finitos, también tiene tres métodos diferentes que pueden ser usados para incorporar la topografía dentro del modelo de inversión (Loke, 2000).

Se organizaron los datos adquiridos en el formato requerido por el software de inversión RES2DINV, independientemente cual sea el arreglo de electrodos utilizado se deben organizar los datos en un archivo “.dat”, o también puede ser un archivo de texto con la misma extensión. Una vez ordenado los datos en formato requerido se procedió a la inversión de los mismos, el cual se resume en los siguientes pasos:

1. Se abre el archivo desde el programa RES2DINV para que el mismo haga la lectura de los datos.
2. Se escogieron los parámetros de inversión con los que se desea trabajar.
3. Se escogió el método para resolver el problema directo. En este caso se escogió el método de los elementos finitos para la inversión de los datos sin topografía.
4. Finalmente se ejecuta la orden al software de realizar el procedimiento de inversión mediante la aproximación por mínimos cuadrados.

Luego de finalizado el proceso de inversión se despliega el resultado del mismo, el cual consiste en tres gráficos, el gráfico de los parámetros medidos, el gráfico de los parámetros calculados y el gráfico del modelo de resistividades reales encontrado, también se puede desplegar el gráfico de la diferencia entre los parámetros medidos y los calculados. Con los resultados de la inversión se puede dar paso a la interpretación y análisis de los mismos. Para un detalle completo de la Inversión de los datos, dirigirse al manual de Res2dInv que es el software que se utiliza para la Inversión de los datos.

5. DESARROLLO

La interpretación de datos geofísicos se refiere a la descripción de los resultados obtenidos por medio de

una técnica de prospección, estas técnicas aprovechan las variables físicas para crear modelos, mapas o simulaciones de las condiciones al interior de la Tierra.

A continuación, se presentan algunos de los resultados de la campaña de prospección geoelectrica realizada en la región del Acuífero Transfronterizo Ocotepaque – Citalá, Región Trifinio, El Salvador – Honduras, la cual se llevó a cabo durante el período del 11 al 15 de marzo de 2019.

5.1 Perfil 1 y 2: San Ignacio 1 y La Recta

El perfil 1, denominado “San Ignacio 1” se ubica sobre la carretera que de San Ignacio conduce a la Frontera “El Poy”, cercano a una zona de talleres automotrices y propiedades de crianza de ganado, La topografía del terreno no es complicada, teniendo inclinaciones suaves que permitieron la realización de la prueba de manera correcta.

La geología de la zona es predominada por depósitos aluviales (miembro Qal, según mapa geológico de la región Trifinio) con espesores desde 3m. Hasta sectores con depósitos superiores a 10 m., se logró apreciar en cortes de carretera cercanos que dichos eventos de depositación aluvial han sido variados a lo largo del tiempo, lo que se ve reflejado en las intercalaciones de cantos rodados y arenas más finas (Figura 4).

La vegetación de la zona consta de árboles caducifolios, arbustos y algunos árboles frutales. Por las condiciones de la época climática la mayoría de la vegetación permanecía seca.

5.2 Interpretación Geofísica 1.

La inversión de los datos de la tomografía eléctrica 2D muestra una serie de secciones de interés en el Perfil San Ignacio 1. En primer lugar, se tienen las capas superficiales, las cuales generan una unidad de resistividades relativamente altas, que rondan entre los 50 – 75 $\Omega \cdot m$, las cuales alcanzan profundidades aproximadas de 15 m., como se muestra en la Figura 3 (sobre la línea punteada negra).

Por debajo del límite de las capas resistivas superficiales se puede apreciar segmentos con resistividades bajas, las cuales rondan los 13.7 – 30 $\Omega \cdot m$ (regiones con color azul claro y verde), y que se encuentran a partir de los 15 m. de profundidad, los valores bajos de resistividades pueden asociarse a rocas con saturación de fluidos.

Es de resaltar que la tomografía reveló regiones con valores de resistividad extremas, es decir valores altos y muy bajos, focalizados en un segmento de aproximadamente 80 m. al Este del centro de la toma de datos, estas anomalías podrían relacionarse a presencia de arcillas sobresaturadas en el caso de la zona de resistividades inferiores a $13.7 \Omega \cdot m$, y a un depósito rocoso bien consolidado y poco permeable

en el caso de la región de resistividades superiores a $50 \Omega \cdot m$ (zona por debajo de la línea punteada roja de la (Figura 5), esto último se basa en la geología característica de la zona, la cual presenta estratos con secciones de rocas bien consolidadas, como cantos rodados, y material con textura fina por encima de estos.



Figura 4. Disposición de los materiales aluviales en las cercanías del perfil 1

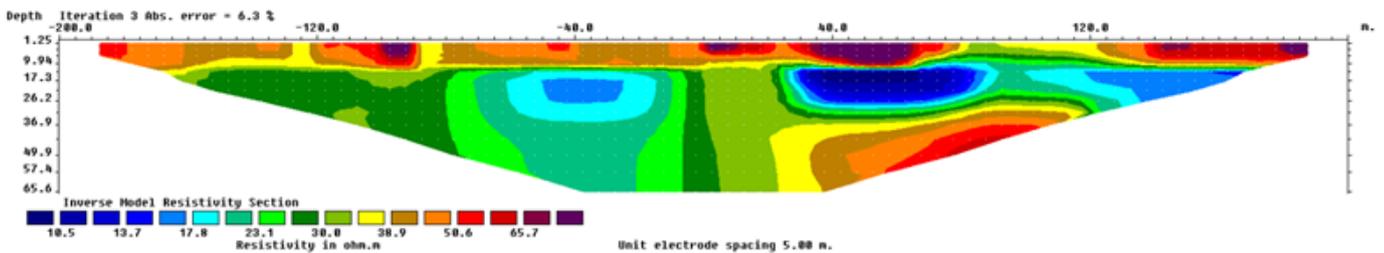


Figura 5. Tomografía Eléctrica 2D, perfil San Ignacio 1.

5.3 Perfil 2, "La Recta", San Ignacio

El perfil 2, denominado "La Recta", se ubicó sobre la antigua calle que llevaba hacia la aduna "El Poy", en la jurisdicción de San Ignacio, el lugar se caracteriza por ser una comunidad en crecimiento gracias al reparto de terrenos por parte de la

municipalidad, la zona no cuenta con conexiones de servicios básicos y el ingreso a la zona de estudio está a un lado de la carretera principal hacia El Poy. La pendiente del terreno daba lugar a un acceso fácil y a la realización de la prueba con bastante facilidad.



Figura 6. Afloramiento de depósitos aluviales cercanos a la zona de estudio del perfil 2 "La Recta", San Ignacio, Chalatenango

En los alrededores de la zona de trabajo se encontró un corte litológico que permitía verificar la geología de la zona, este presentaba depósitos aluviales correspondientes al miembro Qal, según el mapa geológico de la región trifinio; estos depósitos parecían representar varios episodios en el que la dinámica del río permitió la sedimentación de diferentes materiales. Los estratos de cantos rodados y columnas de arenas finas fueron evidentes en la inspección de la zona (Figura 6).

5.4 Interpretación Geofísica 2.

Los resultados del perfil 2 son muy variantes respecto a los resultados del perfil 1. A pesar de encontrarse dentro del mismo miembro geológico (Qal) y estar relativamente cercanos el uno al otro, el perfil 2 (Figura 7) presenta secciones de resistividad más

elevadas (desde 37 $\Omega\cdot m$ hasta 70 $\Omega\cdot m$) y con espesores más grandes – hasta 40 m. de profundidad en segmentos al Oeste del centro del arreglo –. No obstante, se logra apreciar un segmento con resistividades bajas (entre 13 – 25 $\Omega\cdot m$) en la sección Este del arreglo, con profundidades de hasta 17 m, esta zona es la única que podría representar secciones de roca saturada. Para finalizar la interpretación del modelo de inversión se puede apreciar alrededor de los 55 m. de profundidad en la sección central del modelo una región de resistividades intermedias (20 – 33 $\Omega\cdot m$), estos valores están considerados recurrentes en zonas con saturación de agua, sin embargo, al tratarse de los datos más profundos del modelo, es arriesgado dictaminar que esa zona corresponda a niveles freáticos profundos.

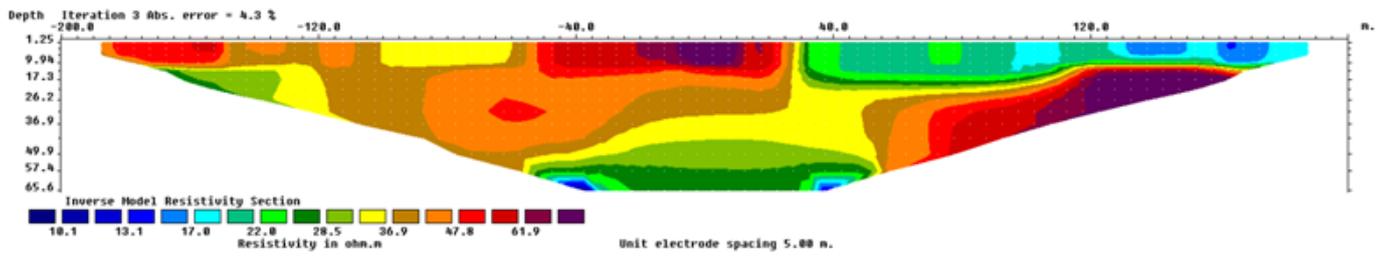


Figura 7. Tomografía Eléctrica 2D correspondiente al perfil "La Recta"

La distribución irregular de los valores de resistividad podría deberse a la geología propia de la zona. O sea, que existe la posibilidad que los materiales observados en los alrededores contemplen espesores mucho más grandes que los que afloran en superficie, sin embargo, esta afirmación necesita de una corroboración por medio de la obtención de testigos litológicos, u otra prueba geofísica que refuerce la hipótesis.

5.5 Perfil 3: Citalá "Río"

En el día uno de la campaña geofísica, se logró trabajar 3 perfiles en territorio salvadoreño, los primeros dos se mostraron anteriormente, el último de ello se realizó en las afueras del casco urbano del municipio de Citalá, Chalatenango. El perfil fue denominado "Citalá Río", por su cercanía al río Lempa. La zona de estudio se caracteriza por ser de

uso agrícola y ganadera. El terreno en este perfil presentó dificultades en algunas regiones debido a la presencia de segmentos rocosos de alta dureza y niveles de resequedad superficial elevados. Además, la pendiente en el terreno era cambiante y generó un poco de inconvenientes al momento de trasladar el equipo. En un segmento cercano al lugar de estudio se documentó un afloramiento de materiales de deposición aluvial (Figura 8), que según el mapa geológico de la región trifinio forman parte del miembro Qal, los cuales sugieren que parte del terreno en el que se realizó la toma de datos está compuesto por los mismos materiales, sin embargo, el mismo mapa geológico advierte que en la parte más al Norte del perfil los materiales geológicos tienen un cambio, siendo así la unidad predominante en la zona las rocas Efusivas básica intermedia (Pm).



Figura 8. Estratos aluviales en las cercanías del perfil Citalá Río

5.6 Interpretación Geofísica 3

Los resultados de la inversión de datos de la tomografía eléctrica para el perfil Citalá Río (Figura 9), permite observar una sección de resistividades altas con valores que rondan los 27.9 – 55.1 $\Omega\cdot m$ en los primeros 8 metros de profundidad (arriba de la línea punteada negra). Posterior a estos niveles se puede apreciar segmentos con resistividades significativamente más bajas, a unos 15 m., según el modelo, desde la parte más al Sur y la parte central del perfil, acá se obtuvieron valores desde 7.15 - 25 $\Omega\cdot m$, lo que permite inferir que esta sección del perfil presenta saturación por fluidos en las rocas

subyacentes (sección por debajo de la línea punteada blanca), los niveles que alcanzan estas unidades de baja resistividad alcanzan los 32 m. de profundidad, con oportunidad de que pudiesen seguir en niveles más profundos. El cambio de resistividades que se da desde los últimos 100 metros más al Norte podría deberse con el cambio de materiales geológicos que se tenían en la zona, sin embargo, para asegurar esto se sugiere la realización de nuevas mediciones de resistividad, perforación de testigos litológicos y prospección geofísica con otro método.

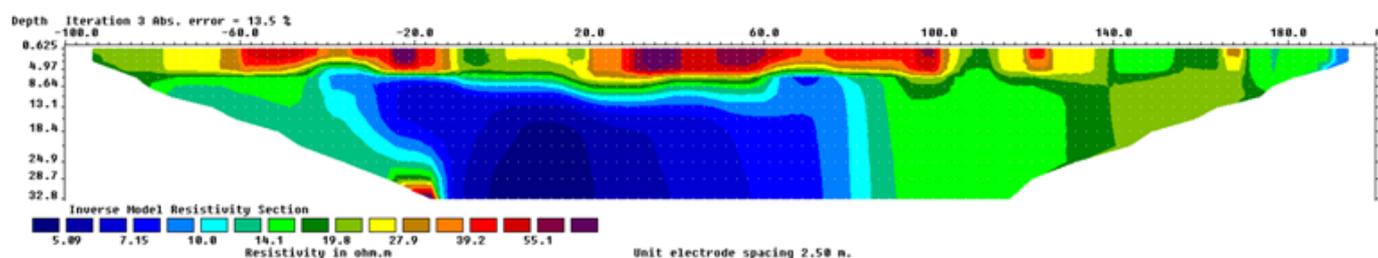


Figura 9. Tomografía Eléctrica 2D resultante para el perfil Citalá Río

6. CONCLUSIONES

La campaña de colecta de datos geofísicos en el Acuífero Ocotepaque – Citalá deja como resultado un set de datos de resistividad los cuales serán incluidos en las bases de datos necesarias para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del ATOC. El método de resistividad eléctrica en su modalidad de tomografías eléctricas 2D genera buenos resultados para la identificación de niveles freáticos y zonas con alta saturación de fluidos.

De los 13 perfiles realizados en la campaña de campo, 9 presentan características suficientes para identificar y asociar los valores de resistividad a niveles freáticos, estos perfiles son: San Ignacio 1, Citalá Río, Concepción Pozo Monitoreo, Santa Fe Cementerio, Concepción Relleno Sanitario, Sinuapa Cementerio, Santa Anita 2, Antigua Ocotepaque, El Poy Pozo Monitoreo. Todos los anteriores perfiles cuentan con segmentos de resistividad que rondan los 15 – 30 $\Omega\cdot m$, dichos valores pueden ser asociados a rocas con niveles importantes de saturación de agua.

La profundidad del nivel freático de cada perfil varía entre los 7.5 – 20 m., esto puede estar relacionado al

nivel de pendiente del terreno, el uso y tipo de suelo, la existencia de puntos de extracción de agua cercanos, entre otras razones. Estas profundidades nos estarían confirmando que los niveles freáticos alcanzados corresponden a un acuífero superficial ya antes descrito en documentación generada por el proyecto GGRETA (UNESCO-PHI y UICN).

Los resultados interpretativos del estudio efectuado han permitido obtener una reconstrucción atendida y consistente del ordenamiento geológico estructural del área en investigación, la geología en los 9 perfiles que cuentan con niveles freáticos definidos son coincidentes, siendo los materiales sedimentarios del miembro “Qal” asociados a Aluviones Fluviales, según el mapa geológico de la región trifinio, predominantes en los terrenos respectivos. En el caso del perfil Citalá Río, una sección de aproximadamente 100 metros ingresó en otra unidad geológica, lo cual puede evidenciarse en los resultados de la tomografía de ese lugar.

Agradecimientos

Grupo de Investigación de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de

El Salvador, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN.

REFERENCIAS

- Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J. (2015). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press.
- Arias, M. 2002: La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la Hidrogeología. Revista Geológica de América Central, 27: 21-26. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. San José.
- ESRI, A. (12 de julio de 2019). Polígonos de Thiessen. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm>
- Griffiths D.H., Turnbull J., Olayinka A.I. 1990: Two-dimensional resistivity mapping with a computer- controlled array. First Break 8, 121-129.
- Kirsh, R. (2009). Groundwater Geophysics a Tool for Hydrogeology (Vol. 2da edición). Berlin Heidelberg: Springer.
- Loke, M.H., (1994): The inversion of two-dimensional resistivity data. Unpubl. PhD thesis, Univerity. Of Birmingham.
- OIEA, & Plan Trifinio. (2009). Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e hídricos en la cuenca Alta del Rio Lempa. Esquipulas, Guatemala.
- ONU. (2009). Resolución aprobada por la Asamblea General: 63/124. El Derecho de los Acuíferos Transfronterizos
- Plan Trifinio. (18 de febrero de 2016). Plan Trifinio. Obtenido de <http://www.plantrifinio.int/quienes-somos/plan-trifinio>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics (Second ed.). Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- UNESCO-PHI/UICN. (2016). Trifinio: estudio de las aguas subterráneas; proyecto GGRETA, Fase 1, 2013-2015. UNESCO

Como citar este artículo:

Alvarado, C., Mayén, L., Castillo, L. (2020). Prospección Geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica del acuífero transfronterizo Ocatepeque-Citalá (ATOC), Región Trifinio, El Salvador-Honduras. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 70-80. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Las seis reglas de la regionalización en hidrología

The six rules of regionalization in hydrology



Alfonso Gutiérrez-López^{1*}, Javier Aparicio²

Recibido: 19/09/2019

Aceptado: 24/02/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

Uno de los principales problemas en la gestión del agua en Latinoamérica y el Caribe es sin duda la escasa red de estaciones climatológicas e hidrométricas. La estimación de los eventos de diseño de las obras hidráulicas será tan buena como tan buena sea la calidad de la información utilizada. La calidad de la información se encuentra asociada con circunstancias como el proceso de recolección de mediciones, la longitud de los registros y la representatividad de la información en el sitio; en este sentido, el hidrólogo se enfrenta a dos problemas complejos. El primero consiste en tener las herramientas adecuadas para llevar a cabo una crítica aceptable de los datos a utilizar, lo que conlleva a definir conceptos muy precisos y seguirlos. El segundo es la necesidad de diseñar proyectos en sitios donde los datos climatológicos o los registros hidrométricos son escasos o nulos. Este trabajo presenta el detalle de los conceptos y las seis reglas que deben respetarse cuando se realiza una regionalización hidrológica con el objeto de transferir información hidrológica: (i) Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones, (ii) Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar, (iii) Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo, (iv) Identificar regiones hidrológicamente homogéneas, (v) Construir ecuaciones regionales de transferencia de información y (vi) Verificar la validez de las ecuaciones regionales. Con este trabajo se pretende que los estudios de regionalización hidrológica se presenten de manera adecuada en países donde la transferencia de información es de gran importancia para el diseño de obras hidráulicas.

Palabras clave: Regionalización, transferencia de información, regiones homogéneas, variabilidad, diseño obras.

Abstract

One of the main problems in water management in Latin America and the Caribbean is certainly the limited network of climatological and hydrometric stations. The estimation of the design events of hydraulic works will be as effective as the quality of the information used. The quality of the information is associated with factors such as the measurement collection process, the size of records, and the representation of the information on the site; in this sense, the hydrologist confronts two complex problems. The first involves the availability of the appropriate tools to carry out an acceptable critique of the data to be used; this requires the definition of very precise concepts and following them. The second is the need to design projects in sites where climatological data or hydrometric records are limited or null. This work presents the detail of the concepts and the six rules that must be respected when a hydrological regionalization is carried out with the purpose of transferring hydrological information: (i) Characterize the variability (space-time) of measurements, (ii) Identify the variables that describe the phenomenon to be estimated, (iii) Verify the homogeneity and independence of the time series, (iv) Identify hydrologically homogeneous regions, (v) Construct regional equations for the transfer of information, and (vi) Verify the validity of the regional equations. The aim of this work is to ensure that hydrological regionalization studies are properly presented in countries where the transfer of information is of great importance for the design of hydraulic works.

Keywords: Regionalization, information transfer, homogeneous regions, variability, works design.

1 Centro de Investigaciones del Agua, Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ingeniería. alfonso.gutierrez@uaq.mx

2 Comisión Nacional del Agua, México. Insurgentes Sur 2460 col. Copilco el Bajo, C.P. 04340 Ciudad de México. francisco.aparicio@conagua.gob.mx

1. INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad de regiones representa un problema cuando se trata de estudiar la distribución espacio-temporal de cualquier fenómeno climático. Muchos son los métodos y técnicas empleadas para lograr comprender y explicar los cambios en diversas variables hidroclimatológicas. En todos los casos se parte de la hipótesis de que existe una función matemática que representa la variabilidad espacial de la medición efectuada en un entorno o vecindad de un punto. Esta medición puede presentar una variación espacial y temporal debida a que algunos procesos físicos tienen una cierta orientación predominante. Es decir, se trata de fenómenos con tendencias anisotrópicas y estocásticas (Haining, 2003). El análisis espacial de variables hidroclimatológicas es sin duda uno de los grandes retos de la hidrología moderna. No solo el análisis, sino la representación espacial de variables climáticas constituyen un reto y una actividad de gran precisión. A partir de la densidad de los sitios de medición es como se define una estructura espacial y los patrones de comportamiento dentro de un espacio geográfico; todo esto parece muy bien en el supuesto de que se cuente con mediciones de calidad (Chou, 2010; Gutiérrez-López et al., 2019). En la actualidad se reconoce un círculo-perverso que ocurre en países de la región de Latinoamérica y El Caribe (LAC). En la mayoría de estos países, el riesgo de ser afectados por fenómenos extremos multi-amenaza crece año con año y sin embargo su interés por medir es cada vez menor. Esto provoca que las redes de monitoreo y las bases de datos sean cada vez más escasas, a pesar de que se ha demostrado que el análisis espacial de variables hidrológicas permite mejorar el conocimiento de los factores que ayudan a disminuir el riesgo por fenómenos extremos (Carrera-Hernández y Gaskin, 2007; Jacobi et al., 2013; Welz y Krellenberg, 2016). Es decir, la estimación del riesgo y la vulnerabilidad requiere conocer procesos cada vez más complejos y se precisan análisis probabilísticos más detallados para enfrentar la ocurrencia en el tiempo y el espacio de fenómenos extremos cada vez más severos (Gutiérrez-López et al., 2015).

En América Latina las estaciones climatológicas son en general más abundantes que las estaciones hidrométricas; por lo que el concepto de regionalización hidrológica adquiere un valor particularmente importante en un estudio de

aprovechamientos hidráulicos (Rasmussen et al., 1994; Loukas, 2002). Tradicionalmente se trabaja con modelos lluvia-escurrimiento que permiten el cálculo de eventos de diseño; sin embargo, al tener bases de datos limitadas, la incertidumbre de los resultados aumenta. Si se recurre a la antigua mala-práctica de utilizar la similitud con cuencas vecinas o simplemente aplicar técnicas de interpolación espacial sin antes, por lo menos, aplicar una prueba de discordancia o verificar la homogeneidad hidrológica, los resultados serán cuestionables (Hosking & Wallis, 1997; Campos-Aranda, 2010; Campos-Aranda, 2017). Los errores que pueden generarse al transferir información entre regiones no homogéneas, pudieran, en magnitud, ser del orden de un evento aislado o hasta del valor anual de un evento analizado. Normalmente se intenta disminuir la incertidumbre en esta transferencia de información dividiendo una región en subregiones hidrológicamente homogéneas. En este sentido, las técnicas de regionalización hidrológica han sido desarrolladas para estimar eventos puntuales en sitios en donde no existen estaciones o la información es limitada, escasa o nula (Taffa, 1991). Gracias a la robustez de los procedimientos regionales, éstos son una excelente herramienta para estimar eventos extremos en países en donde las redes de medición aún no se encuentran muy desarrolladas (Koutsoyiannis et al., 1998; Ouarda et al., 2001). Existen numerosas ventajas al utilizar un procedimiento regional sobre un grupo de cuencas hidrológicamente homogéneas, comparado por ejemplo, con un análisis de frecuencias sobre un solo sitio de medición. Lo anterior ha sido ya probado desde hace algunos años (Beran et al., 1990; Smithers y Schulze, 2001). De esta forma, el presente trabajo tiene como objetivo principal proponer el concepto de regionalización hidrológica, así como sus componentes básicos. Se pretende que a partir de este trabajo se puedan estandarizar las definiciones, criterios y pasos a seguir para lograr lo que define Campos-Aranda (2017), como los aspectos operativos del análisis regional.

2. DEFINICIÓN

Si se quiere formular una definición se puede iniciar con la proposición de Rosbjerg y Madsen (1996), quienes textualmente proponen que: “El objetivo del análisis regional es combinar la información de todos los sitios de la región, a fin de mejorar las

estimaciones de los eventos en el año T en un sitio a partir de las propiedades regionales de los parámetros de los sitios en análisis”. Rigurosamente Thiessen inició el concepto de variables regionales; al proponer una ponderación de valores en un espacio anisotrópico; sin embargo, la hipótesis de que los polígonos de Thiessen tienen un comportamiento como regiones hidrológicamente homogéneas debe verificarse. También Matherón contribuyó con la definición de variables regionales, a partir de la función matemática de anisotropía, llamada variograma. Con estas consideraciones, se puede enunciar la siguiente definición: la regionalización hidrológica es un conjunto de ecuaciones (modelo matemático) que permite, a través de una transferencia de información, estimar eventos hidrológicos en sitios con registros escasos o nulos. Algunos ejemplos de estos modelos son: Método de la Avenida Índice (Index Flood Method), Método de estaciones-año, Método de Box-Cox regional, Método regional de momentos L, Método Gradex, Método TCEV regional. Con base en estos conceptos, se propone que todo proceso de regionalización debe incluir las siguientes etapas: (i) Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones, (ii) Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar, (iii) Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo, (iv) Identificar regiones hidrológicamente homogéneas, (v) Construir ecuaciones regionales de transferencia de información y (vi) Verificar la validez de las ecuaciones regionales.

Como un complemento de la definición, es importante mencionar las acciones que se efectúan creyendo que se realiza una regionalización. A continuación se mencionan las principales:

- Regionalización hidrológica NO es: calcular y dibujar iso-líneas de alguna variable hidrológica; a esto se le llama cartografía.
- Regionalización hidrológica NO es: utilizar diversas características fisiográficas de una región; a esto se le llama ponderación espacial.
- Regionalización hidrológica NO es: utilizar distribuciones de probabilidad en varias estaciones de una región; a esto se le llama análisis múltiple de frecuencias.
- Regionalización hidrológica NO es: emplear algún método como el Inverso de la distancia, Kriging, Splines, etc.; a esto se le

llama interpolación espacial. (Goovaerts, 2000).

- Regionalización hidrológica NO es: estimar envolventes de eventos hidrológicos; a esto se le llama análisis de extremos.

3. METODOLOGÍA

Todo proceso de regionalización requiere:

- i. *Caracterizar la variabilidad (espacio-temporal) de las mediciones*

El procedimiento más adecuado para realizar esta actividad es: *usar la Geoestadística y las funciones de anisotropía relacionadas con los variogramas direccionales*. El análisis espacio-temporal de variables hidrológicas es necesario para la modelación hidrológica de fenómenos extremos. Se ha propuesto un gran número de procedimientos geoestadísticos (Goovaerts, 2000; Gutierrez-Lopez et al, 2019). La dependencia espacial es una propiedad inherente de un grupo de mediciones dentro de un espacio geográfico. Esta propiedad será adquirida por cualquier dato medido dentro de esa superficie. La forma en que se adquiere depende, por ejemplo, de la resolución o escala espacial en el muestreo (*spatial resolution*) y de la densidad del muestreo (*sampling*); esto es válido tanto para el caso de un campo espacial como para la medida espacial de agregación (para el caso de objetos en el espacio). La primera etapa para cuantificar esta estructura espacial dentro de un grupo de datos (dependencia espacial), consiste en definir, para cada grupo de puntos o agrupaciones de objetos en el espacio, las relaciones que existen entre ellos (Chou, 2010; Haining, 2003).

- ii. *Identificar las variables que describen el fenómeno a estimar.*

El procedimiento más adecuado para realizar esta actividad es: *un Análisis de Componentes Principales o un Análisis de Factorial de Correspondencia (análisis multivariados)*. En general se utilizan las características ligadas a un sitio como la temperatura, la geología, el área de la cuenca, la topografía, la pendiente media del cauce principal e incluso el uso del suelo combinada con medidas de infiltración, que contribuyen como características significativas de una cuenca (Douguédroit y De Saintignon, 1981; Schauer y Jenkins, 1996; Dunn y Lilly, 2001; Naef et al., 2002). También los aspectos geográficos como la

latitud, longitud o distancia al océano determinan fuertemente el régimen de precipitación de una región (Smithers y Schulze, 2001). Otra variable importante es el índice pluviométrico (lluvia máxima en dos días consecutivos y lluvia para un periodo de retorno de 5 años), que ha sido utilizado para clasificar y agrupar cuencas con un comportamiento similar (Acreman y Sinclair, 1986). Un aspecto importante es considerar que no siempre las características fisiográficas garantizan la semejanza fisiográfica ni la respuesta hidrológica de cuencas (Burn, 1997; Cunderlik & Burn, 2001). Sin embargo, los parámetros de alguna distribución o algún modelo específico que describa algún proceso hidrológico dentro de la cuenca son determinantes para transferir información de un sitio a otro. También es importante mencionar que las cuencas homogéneas pueden ser o no contiguas.

- iii. Verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo.

Los procedimientos mínimos para realizar esta actividad son: *una prueba de discordancia y una prueba para verificar la homogeneidad de los datos*. Antes de generar grupos homogéneos es necesario verificar la consistencia de las variables que van a utilizarse (Ebisemiju, 1979; Nathan and McMahon, 1990; Caratti et al., 2005; Campos-Aranda 2017). En general todo análisis exploratorio de datos es recomendado (Tukey, 1977).

Un análisis estadístico simple es un buen inicio; por ejemplo: estadísticos básicos, análisis de regresión o un análisis de varianza (Ojeda-Ramírez et al., 2011). Estudios recientes Chebana et al. (2017) proponen análisis de datos más detallados, como un análisis de detección de ruptura de series, estadísticos para detectar un cambio en la media y varianza de las muestras. Pruebas recomendadas como la estacionaridad y la homogeneidad en los datos es muy conveniente. Mayormente recomendado es el cálculo de la función de covarianza y después una prueba de independencia a través de un correlograma.

- iv. Identificar regiones hidrológicamente homogéneas.

Los procedimientos mínimos para realizar esta actividad son: *Índice métrico de Minkowski, Análisis de agrupamiento y técnicas multivariadas*. La delimitación de regiones hidrológicamente

homogéneas es la etapa más difícil de un proceso de regionalización hidrológica (Smithers y Schulze, 2001). La desagregación de una gran región en subregiones similares, permitirá, por ejemplo, disminuir los errores que se generan al transferir tormentas o datos hidrológicos en general de una cuenca a otra (Leviandier et al., 2000). Entre las técnicas empleadas para determinar regiones homogéneas se pueden mencionar el análisis de residuales (Bhaskar y O'Connor, 1989; Hall et al., 2002), el análisis de los estadísticos de las series históricas (Lu y Stedinger, 1992; Kachroo et al., 2000;) o las técnicas multivariadas (Gingras y Adamowski, 1993).

Cualquiera que sea el procedimiento empleado, se requiere siempre de una identificación previa de las variables o características significativas de la región en estudio (Berger y Entekhabi, 2001; Burn y Elnur, 2002).

En este aspecto, cada autor propone las características fisiográficas, climatológicas y geográficas que serán utilizadas en el proceso de regionalización. Una guía recomendable para dicha selección fue presentada por Acreman y Sinclair (1986), por Nathan y McMahon (1990), por el grupo GREHYS (1996a y 1996b) y por Krysztowicz (2001).

Para formar grupos de series o cuencas hidrológicamente homogéneas, dentro de la literatura especializada se mencionan tres consideraciones.

La primera se refiere a seleccionar un índice de proximidad. Un índice de proximidad representa en forma matemática la semejanza o desigualdad entre dos configuraciones, es decir, entre dos datos o puntos. Su aplicación en hidrología consiste en obtener dichos índices a partir de configuraciones específicas, formadas por características hidrológicas medibles y continuas en una proporción de escala conocida. $X_{i,j}$ es la j -ésima característica de la i -ésima configuración. El índice de proximidad entre dos puntos (configuración) "i" y "k" se denota como: $d(i,k)$.

El índice de proximidad más común es el *índice métrico de Minkowski*, el cual mide no semejanzas (desigualdad) y se define como:

$$d(i, k) = \left[\sum_{j=1}^{\delta} |X_{i,j} - X_{k,j}|^r \right]^{1/r} \quad \text{donde } r \geq 1$$

Donde δ es el número de características. Los tres tipos más comunes del índice métrico de Minkowski son:

- a. La distancia Euclidiana ($r=2$). Esta distancia tiene también la variante de la distancia Euclidiana al cuadrado. Estas dos distancias son calculadas a partir de datos brutos y no de datos estandarizados. Esta distancia tiene ciertas ventajas, por ejemplo, la distancia entre dos objetos no se afecta si se introduce un nuevo elemento al análisis. Sin embargo, esta distancia se ve afectada por la magnitud de las unidades de medición. Para corregir esto se puede intentar una estandarización antes de calcular las distancias (Jain y Dubes, 1987; Saporta, 1990).
- b. La distancia Manhattan o taxicab ($r=1$). Esta distancia es la diferencia media entre las magnitudes de las mediciones. En la mayoría de los casos esta distancia arroja resultados similares a la de la distancia Euclidiana. Sin embargo, es importante señalar que con esta distancia las diferencias entre mediciones es muy importante ya que la distancia no está elevada al cuadrado (Jain y Dubes, 1987).
- c. La sup-distancia o de Tchebychev ($r \rightarrow \infty$). Esta distancia se emplea cuando se consideran dos objetos “diferentes” a partir de que alguna de sus magnitudes fue medida en una escala diferente (Jain y Dubes, 1987; Saporta, 1990). Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se emplea la distancia Euclidiana, que es el índice métrico de Minkowski más común y más aceptado en el trabajo de la ingeniería (Smithers y Schulze, 2001).

La segunda consideración se refiere a seleccionar una regla de agregación. La regla de agregación también se conoce como algoritmo de agrupación. En el campo de la hidrología se recomienda como algoritmo de agrupación el de Ward (Smithers y Schulze, 2001). Esta regla de agregación consiste en utilizar un análisis de varianza para evaluar cada una de las distancias entre los elementos. Se intenta minimizar iterativamente la suma de los cuadrados entre las “hipotéticas” distancias de las parejas que se pueden formar en cada etapa. Es decir, se busca obtener en cada etapa un mínimo local de inercia inter-grupo y un máximo de inercia inter-clase (Saporta, 1990).

En general, este procedimiento es muy eficaz aún cuando los grupos que forma generalmente son muy pequeños. Jain y Dubes (1987) presentan una revisión de las diferentes medidas matemáticas asociadas al agrupamiento de elementos similares (índices de proximidad); sin embargo, su aplicación en el campo de la hidrología no está aún muy desarrollado. Otro algoritmo de agrupación es el procedimiento que se conoce como K-means.

Para dividir un área de estudio en subregiones homogéneas es necesario considerar que tendrán un comportamiento similar; de esta manera, los datos requeridos serán inferidos con gran precisión, ya que las ecuaciones de regresión, normalmente empleadas en la transferencia de información hidrológica, se basan en las características de la cuenca.

El estudio de los problemas relacionados con la regionalización ha recibido la atención de muchos investigadores; sin embargo, no se ha logrado obtener una metodología general para identificar regiones que pueden ser utilizadas en los análisis hidrológicos. La mayor parte de las veces se emplea la técnica de ubicación geográfica, que se basa simplemente en trazar radios entre 70 y 80 km en cada sitio (estación) y considerar como cuencas homogéneas a las estaciones que se ubiquen dentro de estos círculos.

Esta idea proviene del concepto del “variograma” utilizado en geohidrología para mostrar la variabilidad de las mediciones piezométricas respecto a la distancia que las separa. Sin embargo, las subregiones deben dividirse con ayuda de otros métodos para tomar en cuenta las similitudes hidrológicas o las características de la cuenca, las cuales no siempre tienen un significado geográfico, como por ejemplo las curvas de Andrews o la prueba de homogeneidad de Langbein (Gutiérrez-López y Ramírez, 2005).

La tercera consideración se refiere a la representación de la agregación. Es de gran importancia representar los resultados de la agrupación de regiones homogéneas. Es normal utilizar diversas técnicas gráficas como los diagramas de árbol o la clasificación jerárquica. Un buen método de representación debe tomar en cuenta la naturaleza de las distancias. Por ejemplo, un diagrama jerárquico (dendrograma) permite describir de manera explícita la estructura final de la clasificación obtenida.

El diagrama representa elementos similares agrupados en una rama y cada rama es un nivel

jerárquico que forma un grupo y así para cada rama (Saporta, 1990). Una buena representación gráfica de regiones homogéneas debe incluir las distancias de agregación.

- v. Construir ecuaciones regionales de transferencia de información.

El procedimiento más utilizado para construir relaciones regionales es la correlación múltiple. Normalmente se correlacionan los eventos estudiados, asociados a diferentes períodos de retorno con las características fisiográficas de la cuenca (Zolt y Burn, 1994; Varas y Lara, 1998).

Incluso, una práctica común consiste en utilizar los resultados de un análisis de frecuencias, asociando los parámetros de la distribución de ajuste con las características fisiográficas, climáticas o ambientales de la región (Wiltshire, 1985, 1986; Burn, 1989, 1997; Prabhata et al, 1995; Castellarin et al., 2001).

Algunos autores proponen un tratamiento previo a los datos, es decir, una prueba de normalidad (Krzysztofowicz, 2001).

- vi. Verificar la validez de las ecuaciones regionales.

La validación cruzada sigue siendo el procedimiento más adecuado para verificar los resultados de un análisis regional.

4. CONCLUSIONES

Un proceso de regionalización permite transferir información de un sitio a otro, a partir de caracterizar el comportamiento entre regiones hidrológicamente homogéneas. Este tipo de procedimiento se utiliza normalmente para estimar precipitaciones, escurrimientos y los principales componentes que describen el proceso lluvia-escurrimiento. La palabra regionalización debe tomarse en cuenta no sólo como un proceso de agrupar elementos similares, sino que comprende un proceso que implica un análisis de relaciones regionales, índices de proximidad, reglas de agregación, métodos de clasificación y pruebas para verificar la validez de dichas regiones homogéneas.

REFERENCIAS

- Acreman, M.C., y Sinclair, C.D., (1986) Classification of drainage basins according to their physical characteristics. an application for flood frequency analysis in scotlandScotland, *Journal of Hydrology*, 84 365-380.
- Beran, M. A. Brilly, M. Becker A., y Bonacci, O., (1990) Regionalization in Hydrology., *International Association of Hydrological Sciences*.
- Berger, K.P., and Entekhabi, D., (2001) Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate, *Journal of Hydrology*, Vol. 247 (3-4) pp. 169-182.
- Bhaskar, N.R., y O'Connor, C.A. (1989) Comparasion of method of residuals and cluster analysis for flood regionalization. *ASCE J. Water Resource Plan. Manage.* 115(6) 793-808.
- Burn, D.H., (1989) Delineation of groups for regional flood frequency analysis *Journal of Hydrology*, 104 345-361.
- Burn, D.H., (1997) Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, *Journal of Hydrology*, Vol. 202 (1-4) pp. 212-230.
- Burn, D.H., y Elnur, M.A.H., (2002) Detection of hydrologic trends and variability, *Journal of Hydrology*, Vol. 255 (1-4) pp. 107-122.
- Campos- Aranda, D. (2017). Discusión 2. Modelos regionales de escurrimientos máximos instantáneos en la república mexicana. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 08(4), 173-179. doi: 10.24850/j-tyca-2017-04-d2r2
- Campos-Aranda, D. F. (2010). Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, I(4), 157-165.
- Caratti, J. F., J. A. Nesser, and C. L. Maynard. 2005. Watershed Classification Using Canonical Correspondence Analysis and Clustering Techniques : a Cautionary Note 1. 59601.

- Carrera-Hernández, J., and Gaskin, S. (2007). Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *Journal of Hydrology*, 336(3-4), 231-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.021>
- Castellarin, A., Burn, D.H. y Brath, A., (2001) Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 241 (3-4) pp. 270-285.
- Chebana, F., M. A. B. Aissia, and T. B. M. J. Ouarda. 2017. Multivariate shift testing for hydrological variables, review, comparison and application. *J. Hydrol.* 548:88–103. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.033>
- Chou, Y. (2010). Map Resolution and Spatial Autocorrelation. *Geographical Analysis*, 23(3), 228-246. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-4632.1991.tb00236.x>
- Cunderlik, J.M., Burn, D.H., 2001. The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrol. Sci. J.* 47 (1), 77–92.
- Douguédroit, A. y De Saintignon, M. (1981) Decroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du Sud et en Provence ; *Eaux et climat*, CNRS.. pp.179-193.
- Dunn, S.M. y Lilly, A., (2001) Investigating the relationship between a soils classification and the spatial parameters of a conceptual catchment-scale hydrological model, *Journal of Hydrology*, Vol. 252 (1-4) pp. 157-173.
- Ebisemiju, F. S. 1979. An Objective Criterion for the Selection of Representative Basins. *Water Resour. Res.* 15:148–158.
- Gingras Denis y Adamowski, Kaz, (1993) Homogeneous region delimitation based on annual flood generation mechanisms *Hydrological Sciences Journal*, 38 103-121.
- Goovaerts, P., (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, Vol. 228 (1-2) pp. 113-129.
- GREHYS, Groupe de recherche en hydrologie statistique, (1996a) Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers, *Journal of Hydrology*, Vol. 186, (1-4) pp. 85-103.
- GREHYS, Groupe de recherche en hydrologie statistique, (1996b) Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, Vol. 186, (1-4) pp. 63-84.
- Gutierrez-Lopez A, Fortanell Trejo M, Albuquerque Gonzalez N, Bravo Prado F. (2019). Análisis de la variabilidad espacial en la precipitación en la zona metropolitana de Querétaro empleando ecuaciones de anisotropía. *Investigaciones Geográficas*.. doi:10.14350/rig.59757
- Gutiérrez-López, A., A. I. Ramírez. (2005). Predicción hidrológica mediante el Método de la Avenida Índice para dos poblaciones. *Ing. Hidráulica en México* XX:37–47.
- Gutiérrez-López, A., Lebel T., Ruíz I., Descroix L. y Duhne M. (2015). Prediction of Hydrological Risk for Sustainable Use of Water in Northern Mexico. Chapter 13. pp. 245-271 In Setegn, S., and Donoso, M. *Sustainability of Integrated Water Resources Management* Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-12194-9>
- Haining R. (2003). *Spatial data analysis, theory and practice*. Cambridge University Press, 432 p.
- Hall M. J., Minns A. W y Ashrafuzzaman A. K. M (2002) The application of data mining techniques for the regionalisation of hydrological variables. *Hydrology and Earth System Sciences* 6:685 - 694.
- Hosking, J. R. M. & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency Analysis. An approach based on L-moments* (224 pp.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Jacobi, P., Momm-Schult, S., & Bohn, N. (2013). Ação e reação: Intervenções urbanas e a atuação das instituições no pós-desastre em Blumenau (Brasil). *EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, (Santiago), 39(116), 243-261. <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612013000100010>

- Jain A.K. ,y Dubes R.C. (1987) Algorithms for clustering data. Prentice Hall,.
- Kachroo, R ., Mikhandi, S. y Parrida , B. (2000) Flood frequency analysis of southern Africa : I . Delineation of homogeneous regions. Hydrological Sciences. 45 (3) pp. 437-447.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D. y Manetas, A., (1998) A comprehensive study of rainfall intensity-duration-frequency relationships. Journal of Hydrology, Vol. 206 (1-2) pp. 118-135
- Krzysztofowicz, R., (2001) The case for probabilistic forecasting in hydrology, Journal of Hydrology, Vol. 249 (1-4) pp. 2-9.
- Leviandier, T., Lavabre, J. y Arnaud, P., (2000) Rainfall contrast enhancing clustering processes and flood analysis, Journal of Hydrology, Vol. 240 (1-2) pp. 62-79.
- Loukas, A., (2002) Flood frequency estimation by a derived distribution procedure, Journal of Hydrology, Vol. 255 (1-4) pp. 69-89.
- Lu, Li-Hsiung y Stedinger, Jerry R., (1992) Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test, Journal of Hydrology, 138, 223-245.
- Naef, F., Scherrer, S., y Weiler, M., (2002) A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change, Journal of Hydrology, Vol. 267 (1-2) pp. 74-79.
- Nathan R.J., y McMahon T.A. (1990) Identification of homogeneous regions for the purpose of regionalisation Journal of Hydrology, 121217-238.
- Ojeda-Ramírez, M. M., F. Velasco-Luna, C. Cruz-López, and P. Tapia-Blázquez. 2011. Metodología estadística aplicada a las finanzas públicas.
- Ouarda, Taha B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S., y Bobée, B., (2001) Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, Journal of Hydrology, Vol. 254 (1-4) pp. 157-173.
- Prabhata, K. Swamee, Chandra Shekhar P. Ojha., y Ali Abbas (1995) Mean Annual Flood Estimation Journal of Water Resources Planning and Management pp 403-407.
- Rasmussen P.F., B. Bobée, y J. Bernier. (1994) Une méthodologie générale de comparaison de modèles d'estimation régionale de crue. Revue des Sciences de l'Eau 7 (1) : 23-41
- Rosbjerg, D., & Madsen, H. (1996). The role of regional information in estimation of extreme point rainfalls. Atmospheric Research, 42(1-4), 113-122. doi: 10.1016/0169-8095(95)00057-7
- Saporta, G., (1990) Probabilités, analyse des données et statistique Editions Technip. 193 p.
- Schauer, B., y Jenkins, W. (1996) A survey of urban and agricultural watershed management practices. Revue Land and Water, , pp 6-8.
- Smithers, J.C. y Schulze, R.E. (2001) A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments, Journal of Hydrology, Vol. 241 (1-2) pp. 42-52.
- Smithers, J.C., y Schulze, R.E. (2001) A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments, Journal of Hydrology, Vol. 241 (1-2) pp. 42-52.
- Taffa, Tulu., (1991) Simulation of streamflows for ungauged catchments, Journal of Hydrology, 129 3-17.
- Tukey, J.W. 1977. Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley
- Varas, E., y Lara, S. (1998) Métodos regionales para estimar la probabilidad de frecuencia de crecidas. Revista Ingeniería del Agua ;Vol 5, num 3, pp 51-57.
- Welz, J., y Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales, (Santiago), 42(125), 251-272. <http://dx.doi.org/10.4067/s0250-71612016000100011>

- Wiltshire, S.E., (1985) Grouping basins for regional flood frequency analysis. *Hydrol. Sci. Journal* 30(1) 151-159.
- Wiltshire, S.E., (1986) Identification of homogeneous regions for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 84 287-302.
- Zolt, Z.rinji y Burn, D.onald H., (1994) Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach, *Journal of Hydrology*, 153 1-21.

Como citar este artículo:

Gutierrez-Lopez, A., Aparicio, J (2020). Las seis reglas de la regionalización en hidrología. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 81-89. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Evaluación de la Sostenibilidad del Proceso de Descentralización del Servicio del Riego en la República Dominicana

*Sustainability Assessment of the Decentralization Process of the Irrigation
Service in the Dominican Republic*

Juan Chalas^{1*}, Joanna Montilla¹, Gerardo Méndez¹, Luis Bello¹,
Agustín García¹, Garby Rodríguez¹

Recibido: 19/09/2019

Aceptado: 08/04/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

El grado de sostenibilidad (nivel de desempeño) financiero, administrativo, organizacional y técnico de las Juntas de Regantes, el conocimiento del impacto del incremento en la superficie de riego sobre el manejo de los recursos hídricos, las consecuencias del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos y la calidad del agua de riego en las áreas de influencias de los sistemas de riego administrados por estas organizaciones fueron estudiados. Para el nivel de desempeño se utilizó una encuesta de evaluación, para las restantes determinaciones se usaron informaciones y datos provenientes de instituciones públicas y privadas relacionadas a esta temática, las cuales fueron analizadas y procesadas. Para el cálculo de las necesidades de agua y el impacto climático se empleó el programa CROPWAT. Los resultados valoraron el nivel de desempeño de las Juntas de Regantes evaluadas como aceptables (61%). No se evidenció una modificación importante del área bajo riego, los recursos hídricos y la calidad del agua de riego como impacto por la administración de los sistemas de riego por estas organizaciones. Para estudiar el impacto del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos en el ámbito de las organizaciones de usuarios, se consideraron dos escenarios de simulación +1.5°C y -1.5°C en las temperaturas medias máximas y mínimas, en términos volumétricos, la variación porcentual es de 15 % en ambos escenarios simulados con respecto al no simulado.

Palabras clave: Organizaciones de usuarios, Juntas de Regantes, superficie de riego, recursos hídricos, cambio climático.

Abstract

The degree of sustainability (level of performance) financial, administrative, organizational and technical of the Boards of Irrigation, knowledge of the impact of the increase in the area of irrigation on the management of water resources, the consequences of simulated climate change on the needs of crop water and irrigation water quality in the areas of influence of irrigation systems managed by these organizations were studied. For the performance level an evaluation survey was used, for the remaining determinations information and data from public and private institutions related to this subject were used, which were analyzed and processed. The CROPWAT program was used to calculate water needs and climate impact. The results assessed the level of performance of the Boards of Irrigators evaluated as acceptable (61%). There was no significant modification of the area under irrigation, water resources and the quality of irrigation water as an impact by the administration of irrigation systems by these organizations. To study the impact of simulated climate change on the water needs of crops in the field of user organizations, two simulation scenarios were considered +1.5 oC and -1.5oC in the maximum and minimum average temperatures, in volumetric terms, The percentage variation is 15% in both simulated scenarios with respect to the non-simulated one.

Keywords: User organizations, Irrigation Boards, irrigation area, water resources, climate change.

1 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI). Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA). Santo Domingo, República Dominicana. jrchalas@gmail.com, ververa1205@gmail.com, g-mendez02@hotmail.com, dominican38@gmail.com, agustijnagarciaacastillo@gmail.com, garby.rodriguez@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La transferencia de los sistemas de riego a los usuarios en la República Dominicana empieza a plantearse como política de estado a mediados de los ochenta y su nacimiento inicia como consecuencia de situaciones entre las que se destacan el continuo deterioro de la infraestructura hidráulica de riego del país, la distribución no equitativa del agua basada en influencias y prerrogativas, entre otros factores a considerar. Fue evidente que en esa época en algunas regiones pese a disponer de agua suficiente para cubrir las necesidades de los cultivos, los usuarios sufrían por la pobre administración, operación y distribución de agua. Por la situación descrita, en 1987, el INDRHI decide impulsar una política de transferencia de los sistemas de riego a usuarios organizados en Juntas de Regantes, hasta ese momento en manos del estado. Con esto, se buscó dar un valor real al agua, pagar por su servicio, permitir que los mismos usuarios se organizarán para conseguir un espacio jurídico que les facultará para administrar las cuotas por concepto de pago de servicio de riego, la garantía de operación de los sistemas de riego y el mantenimiento de toda la infraestructura hidráulica bajo el dominio de los usuarios (G. Arnulfo, 2011).

El INDRHI en su interés por asegurar el buen desempeño de las Juntas de Regantes en el proceso de administración de los sistemas de riego transferidos, ha realizado tres evaluaciones o diagnósticos sobre la situación de las organizaciones de regantes en los años 2001, 2004 y 2006. Las experiencias de los tres diagnósticos realizados han permitido identificar las áreas de fortalezas y debilidades e introducir cambios que mejoren su desempeño.

Para continuar y actualizar el conocimiento del nivel de desempeño de las organizaciones de usuarios, el INDRHI, a través del CEHICA ejecutó un nuevo diagnóstico vigente hasta la fecha, mediante esta investigación titulada “Evaluación de la Sostenibilidad del Proceso de Descentralización del Servicio de Riego en la República Dominicana”.

Este artículo muestra los resultados obtenidos relativos al nivel de funcionamiento de las Juntas de Regantes, del punto de vista financiero, administrativo, organizacional y técnico; además, se estudia el impacto del incremento sobre la superficie de riego y los recursos hídricos en el marco de las

organizaciones de regantes; las consecuencias del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos; así como la calidad de las aguas en el área de influencia de las Juntas de Regantes.

El conocimiento del nivel de desempeño de las organizaciones de usuarios es necesario que sea realizado de manera periódica, con la finalidad de que estas tomen los correctivos de lugar, si es el caso, y mejorar las acciones que ejecutan de manera adecuada. Estas evaluaciones permiten identificar las debilidades administrativas, técnicas, organizacionales y operacionales.

Uno de los objetivos de la transferencia de los sistemas de riego a los usuarios organizados fue que se produciría una mejoría en el aprovechamiento del agua de riego, lo que permitiría incluir nuevas áreas bajo siembra. Pero, un incremento del área de riego, no solo depende de un aumento de la eficiencia en los sistemas de riego; otros factores pueden incidir en esto, como son: i) Crédito, ii) Migración de los jóvenes rurales a las zonas urbanas, iii) Desplazamiento de las áreas agrícolas por asentamientos humanos, iv) entre otros.

Es de importancia conocer el impacto de las organizaciones de usuarios en el incremento de la superficie de riego y sobre el manejo del recurso hídrico. Así como, determinar los posibles impactos de las modificaciones en el área sembrada sobre la demanda en el marco de estas organizaciones a los fines de determinar un posible mejor aprovechamiento del agua para fines agrícolas.

Además, valorar el efecto del impacto del cambio climático sobre las necesidades hídricas de los cultivos en el área de influencia de las organizaciones de usuarios, es un tema de actualidad que incide en la demanda, y en consecuencia analizar estas variaciones de requerimiento de agua, en función del clima para tomar acciones y paliar estos efectos en el manejo y suministro del agua de riego a las parcelas en la cantidad adecuada y oportunidad.

El impacto sobre la calidad del agua de riego en función del manejo de los sistemas de riego por las organizaciones de usuarios; este estudio incluye esta temática de manera preliminar; los resultados permitirán conocer este aspecto y si es el caso de una degradación de la calidad, se tomen acciones para corregir esta situación.

Tabla 1 Organizaciones de regantes estudiadas
Fuente: Elaboración propia

| No. | Organización de Regantes | Estructura | | | | No. usuarios y área | |
|-----|---------------------------|------------|--------|------------|--------------|---------------------|------------------|
| | | Núcleo | Comite | Asociación | Junta | Usuarios | Tareas |
| 1 | Ulises Francisco Espailat | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 5,827 | 392,336 |
| 2 | YSURA | ▲ | | ▲ | ▲ | 8,430 | 331,102 |
| 3 | Dajabón | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 1,090 | 49,744 |
| 4 | General Fernando Valerio | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 4,014 | 374,848 |
| 5 | AGLIPO I | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 3,152 | 124,128 |
| 6 | Nizao-Valdesia | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 4,495 | 299,349 |
| 7 | Valle de San Juan | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 6,180 | 254,352 |
| 8 | Pedernales | ▲ | | ▲ | ▲ | 241 | 10,064 |
| 9 | Mao, Inc | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,775 | 171,360 |
| 10 | Horacio Vásquez | ▲ | | ▲ | ▲ | 2,146 | 180,416 |
| 11 | Padre Las Casas | ▲ | | ▲ | ▲ | 786 | 42,000 |
| 12 | San Rafael del Yuma | ▲ | ▲ | ▲ | | 303 | 21,733 |
| 13 | Río Camú | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,494 | 91,840 |
| 14 | Presa de Rincón | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,421 | 133,920 |
| 15 | Jarabacoa | ▲ | | ▲ | ▲ | 415 | 9,056 |
| 16 | Constanza | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,575 | 44,660 |
| 17 | Mijo | ▲ | ▲ | ▲ | | 800 | 63,136 |
| 18 | Carrera de Yeguas | ▲ | ▲ | ▲ | | 857 | 35,792 |
| 19 | Valle de Neyba | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 4,733 | 267,808 |
| 20 | Limón del Yuna | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,394 | 123,334 |
| 21 | Villa Rivas | ▲ | | ▲ | ▲ | 3,160 | 78,160 |
| 22 | Boba | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 1,755 | 47,041 |
| 23 | Ms. Bogaert | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 2,416 | 211,040 |
| 24 | AGLIPO II | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 2,461 | 83,520 |
| 25 | Río Yuna | ▲ | ▲ | ▲ | | 1,286 | 61,548 |
| 26 | Presa de Hatillo | ▲ | ▲ | ▲ | | 1,598 | 195,152 |
| 27 | Nisibón - Yuma | ▲ | | ▲ | ▲ | 422 | 28,500 |
| 28 | La Esperanza | ▲ | | ▲ | ▲ | 1,008 | 142,576 |
| 29 | Gral Gregorio Luperón | ▲ | | ▲ | ▲ | 581 | 37,680 |
| 30 | Yaque del Sur | ▲ | | ▲ | ▲ | 4,153 | 163,088 |
| 31 | Tamayo | ▲ | | ▲ | ▲ | 4,012 | 353,184 |
| | | | | | Total | 73,980 | 4,422,467 |

2.3 Impacto del incremento en la superficie de riego sobre los recursos hídricos

Para el conocimiento y determinación de los posibles impactos de las modificaciones en el área sembrada sobre la demanda en el marco de las organizaciones de regantes; la metodología usada fue la siguiente:

Se recopiló información de las áreas acumuladas de siembra de las áreas de influencia de las Juntas de Regantes estudiadas en los periodos 2006-2007 y 2016-2017, es decir un lapso de tiempo de 10 años, con la finalidad de determinar el incremento o disminución del área sembrada. Estos datos fueron suministrados por el Departamento de Operación y Mantenimiento del INDRHI. (INDRHI. Depto. Operación y Mantenimiento, 2016).

Se calculó la Evapotranspiración de Referencia (Eto) usando el programa CROPWAT, el cual la estima mediante la ecuación de Penman-Monteith; para lo cual se requirió de la información climática de cada una de las estaciones consideradas en el estudio, las cuales son representativas de las organizaciones de usuarios estudiadas. Estos datos climáticos fueron suministrados por la Oficina Nacional de Meteorología (ONAMET) y por el Departamento de Hidrología del INDRHI.

Oficina Nacional de Meteorología. (ONAMET y por el Departamento de Hidrología del INDRHI, 2006). En la siguiente tabla 2 se muestran informaciones de las estaciones seleccionadas.

Tabla 2. Estaciones climáticas seleccionadas
Fuente: Elaboración propia con la asistencia del Depto. de Hidrología del INDRHI

| No. | Nombre | Ubicación | Periodo de información | Años |
|-----|------------------------|-----------------------------|------------------------|------|
| 1 | Santiago-ISSA | Lat 19 26 N Long 70 44 O | 1967-2004 | 38 |
| 2 | San Juan de la Maguana | Lat 18 45 N Long 71 09 O | 1967-2003 | 37 |
| 3 | Barahona | Lat 18 12 N Long 71 06 O | 1990-2000 | 30 |
| 4 | La Vega | Lat 19 22 N Long 70 53 O | 1990-2000 | 30 |
| 5 | Jimani | Lat 18 40 N Long 71 80 O | 1990-2000 | 30 |
| 6 | Engombe | Lat 18 27 N Long 70 07 O | 1977-2004 | 27 |
| 7 | Azua | Lat 18 40 N Long 70 70 O | 1990-2000 | 10 |
| 8 | La Antona | Lat 19 06 N Long 71 40 O | 1967-2004 | 37 |
| 9 | Jarabacoa | Lat 19 12 N Log 70 64 O | 1967-2003 | 36 |

Estas estaciones climáticas cuentan con las informaciones que requiere CROPWAT para calcular la Eto; como son: i) Temperatura máxima y mínima, ii) Humedad relativa, iii) Horas de sol y iv) velocidad del viento. Estos datos fueron obtenidos en el documento fuente (Las Estadísticas del Agua en la República Dominicana, 1er Edición, 2006, INDRHI). Con el propósito de calcular las necesidades de agua de los cultivos, Evapotranspiración Potencial (Etp),

sembrados en las áreas de influencia de las organizaciones de usuarios; se procedió de la siguiente manera: En cuanto al Coeficiente de los Cultivos (Kc) se identificaron los cultivos que tradicionalmente se desarrollan en las áreas de influencia de las organizaciones de usuarios estudiadas, con esta información y usando los Kc promedio por cultivo presentados por C.Brouwer y M. Heibloem (FAO, 1985), se procedió obtener un

promedio aritmético de los mismos. (Fuentes, J. Técnicas de Riego. 1996)

Calculados los Kc promedio por área de influencia de las Juntas de Regantes se multiplicaron por los Eto ya estimados por CROPWAT, para de esta manera determinar los valores de Etp. (Fuentes, J. Técnicas de Riego. 1996). La precipitación efectiva no fue tomada en cuenta para calcular las necesidades netas de riego de los cultivos (Nn); debido a la costumbre de malas prácticas de los agricultores de no considerar la lluvia caída a los fines de modificar la lámina de agua aplicar a las parcelas. Los valores de Etp fueron multiplicados por las áreas acumuladas de siembra de cada organización de usuarios estudiada, así como, para los períodos considerados. Impacto del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos en el ámbito de las organizaciones de regantes. Usando el programa CROPWAT se calculó la Eto en las 9 estaciones climáticas seleccionadas se simuló el impacto del cambio climático sobre las necesidades de agua de los cultivos (Eto) en el ámbito de las organizaciones de regantes. Las simulaciones consistieron en la reducción y aumento en 1.5°C de la temperatura máxima y mínima media; también se estimó la variación de la humedad relativa en función del cambio de la temperatura; la velocidad del viento se estableció igual a 2 m/s, y la insolación no sufrió variación en este proceso de simulación. Lo referente al aumento y reducción de la temperatura en 1.5°C se basó en los resultados de la Dra. Claudia León de Riverside, en su trabajo “Selección de Proyecciones de Cambio climático, para la República Dominicana”, Julio 2013, que eligiendo escenarios de clima moderado se predice una tendencia de un aumento de la temperatura entre 1.2 y 2.2°C, para el 2100. En este estudio se escogió 1.5°C para la simulación. (León, C, 2013). En cuanto a la variación de la humedad relativa con respecto a la temperatura para los fines de la simulación; se tomó como referencia el artículo “Efecto de la Temperatura en la Medición de la Humedad Relativa” del 24 de marzo del 2008, publicado por la compañía de servicios NOVUS, que reseña que un incremento de 1°C de temperatura en términos generales significa una disminución de la humedad relativa de 4 %.

Respecto a la velocidad del viento, en la publicación No. 56 de la Serie Riego y Drenaje de la FAO "Evapotranspiración del Cultivo". Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Parte A, Evapotranspiración de referencia (ETo), pág. 48, menciona que, en caso de no tener

disponibilidad de datos de viento dentro de la misma región, un valor de 2 m/s se puede utilizar como estimación temporal. Este valor es el promedio de 2,000 estaciones meteorológicas en todo el mundo. (Doorenbos, J. FAO. 1980).

2.4 Posibles impactos de las modificaciones de calidad del agua de riego realizada en el marco de las organizaciones de regantes.

La calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo. (Fuentes, J. Técnicas de Riego. 1996). A los fines de este estudio los parámetros considerados para evaluar el impacto sobre la calidad del agua de riego en el área de influencia de las Juntas de Regantes, debido a la presencia de estas organizaciones en el manejo de este recurso, fueron la conductividad eléctrica (CE), el Ph y la relación de absorción de sodio (RAS); con estas tres variables se puede conocer la calidad de las aguas para fines de riego. Esta investigación abarca 31 organizaciones de regantes que administran sistemas de riego; de estas se identificaron 11, debido a la información disponible y confiable en cuanto a la calidad del agua de riego, colectando los datos de monitoreos puntuales de dos años, con el fin de evaluar el impacto de las organizaciones de usuarios en el manejo del agua de riego, en cuanto a su calidad. En la siguiente tabla 3, se muestran las Juntas de Regantes y sistemas de riego seleccionados, así como los años de los monitoreos, a los fines de evaluar el impacto sobre la calidad de agua de riego en área de influencia de estas organizaciones.

3. RESULTADOS

Autosuficiencia alcanzada por las Juntas de Regantes. Las Organizaciones de Usuarios fueron clasificadas en las siguientes seis categorías: Categoría Muy Sólida, puntuación de 91-100%. Sólida de 81-90%. Buena de 71-80%. Aceptable de 60-70%. Débil de 50-59%. Muy Débil < 50%. Los resultados obtenidos respecto a la autosuficiencia alcanzada por las organizaciones de usuarios evaluadas muestran un promedio general de 61 %, que las clasifica como aceptables. Esto resulta de las siguientes consideraciones tomado en cuenta los parámetros evaluados: Situación Institucional 77 %. Gerencial 82 %. Financiera 52 %. Administración 68 %. Operación y mantenimiento 60 %. Capacitación 66%. Gestión ambiental 28 %. Genero 49 %. Estado actual de la infraestructura física de riego que fue

transferida por el INDRHI a las Juntas de Regantes 75 %. Manejo de los recursos agua y suelo 55 %. En

la tabla 4 se presenta los resultados en detalle obtenidos respecto a esta valoración.

Tabla 3. Organizaciones de usuarios, sistemas de riego y años de registro calidad del agua de riego
Fuente: Elaboración propia

| Juntas de Regantes | Sistema de Riego | Año |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| Horacio Vásquez | Canal Fernando Valerio | 2007 2018 |
| | Canal Villa Vásquez | 2007 2018 |
| Mao Presa Monción | Monsieur Bogaert | 2009 2016 |
| | Mao-Gurabo | 2007 2011 |
| Presa Rincón | Jima-Camú | 2004 2013 |
| Yuna | Canal Yuna | 2000 2015 |
| Ysura | Canal Ysura | 2007 2009 |
| Constanza | Canal Pantunflas Constanza | 2011 2012 |
| Jarabacoa | Canal Baiguaque Jarabacoa | 2011 2018 |
| Rio Camú | Canal Camú-Jamo, La Vega | 2011 2012 |
| Ulises Fco. Espaillat | Canal Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 2000 2007 |
| Nizao-Valdesia | Nizao-Valdesia | 2007 2010 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 2000 2008 |

Tabla 4. Resumen de los resultados evaluación de desempeño de las organizaciones de regantes
Fuente: Elaboración propia

| Parámetros | Nizao-Valdesia | YSURA | Horacio Vásquez | Fernando Valerio | Dajabón | Tamayo | Valle de Nayba | Jarabacoa | Jima | Matillo | Camú | Yaque del Sur | Pedernales | Bonao | Ulises Fco. Espaillat | Mao | AGILDO I | AGILDO II | Boba | Limón del Yuna | Villa Riva | Mijo | Sto. Lucía, los matas de Farfán | Valle de San Juan | La Esperanza, Hacienda Estrella | Gregorio Luperón | San Rafael del Yuma | M. Bogaert | Constanza | Padre de las Casas | Nivel de desempeño promedio aritmético / | Nivel de desempeño promedio ponderado / |
|---|----------------|-------|-----------------|------------------|---------|--------|----------------|-----------|------|---------|------|---------------|------------|-------|-----------------------|-----|----------|-----------|------|----------------|------------|------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------|---------------------|------------|-----------|--------------------|--|---|
| Situación institucional | 92 | 75 | 95 | 88 | 81 | 53 | 84 | 63 | 89 | 91 | 95 | 74 | 64 | 81 | 91 | 92 | 80 | 80 | 53 | 73 | 61 | 83 | 82 | 99 | 55 | 45 | 62 | 85 | 59 | 70 | 77 | 82 |
| Gerencial | 95 | 90 | 70 | 100 | 60 | 54 | 78 | 90 | 90 | 96 | 96 | 100 | 70 | 78 | 88 | 92 | 95 | 95 | 83 | 58 | 82 | 94 | 81 | 96 | 60 | 83 | 57 | 68 | 93 | 54 | 82 | 86 |
| Financiera | 60 | 27 | 40 | 65 | 66 | 41 | 61 | 30 | 57 | 61 | 65 | 47 | 30 | 47 | 79 | 72 | 63 | 70 | 34 | 55 | 42 | 70 | 75 | 57 | 55 | 65 | 15 | 30 | 64 | 15 | 52 | 56 |
| Administración | 87 | 90 | 93 | 94 | 44 | 32 | 53 | 22 | 84 | 88 | 74 | 65 | 38 | 41 | 87 | 80 | 90 | 90 | 70 | 44 | 44 | 82 | 58 | 100 | 52 | 59 | 50 | 71 | 77 | 60 | 68 | 78 |
| Operación y mantenimiento | 78 | 80 | 90 | 90 | 50 | 45 | 30 | 40 | 65 | 54 | 67 | 50 | 61 | 43 | 80 | 55 | 77 | 77 | 64 | 43 | 38 | 86 | 62 | 90 | 45 | 21 | 28 | 50 | 64 | 58 | 60 | 69 |
| Capacitación | 80 | 95 | 100 | 95 | 0 | 57 | 45 | 30 | 5 | 85 | 100 | 90 | 70 | 35 | 85 | 100 | 95 | 95 | 55 | 35 | 60 | 70 | 20 | 100 | 30 | 25 | 75 | 95 | 60 | 85 | 66 | 77 |
| Gestión ambiental | 20 | 25 | 20 | 75 | 0 | 20 | 20 | 10 | 20 | 45 | 30 | 20 | 20 | 30 | 40 | 25 | 70 | 70 | 50 | 20 | 20 | 30 | 0 | 40 | 10 | 14 | 20 | 20 | 25 | 20 | 28 | 34 |
| Genero | 40 | 15 | 20 | 55 | 20 | 60 | 45 | 30 | 70 | 70 | 55 | 30 | 100 | 80 | 35 | 25 | 90 | 90 | 60 | 65 | 75 | 30 | 25 | 20 | 47 | 30 | 50 | 55 | 20 | 65 | 49 | 44 |
| Estado actual de la infraestructura física de riego que fue transferida por el INDRHI a la JR | 80 | 80 | 80 | 100 | 50 | 50 | 50 | 80 | 100 | 100 | 100 | 50 | 80 | 100 | 80 | 80 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 50 | 80 | 80 | 50 | 50 | 80 | 80 | 100 | 80 | 75 | 79 |
| Manejo de los recursos agua y suelos | 100 | 100 | 50 | 100 | 0 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 0 | 50 | 50 | 0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 50 | 0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 | 0 | 50 | 100 | 50 | 100 | 55 | 71 |
| Nivel de desempeño promedio aritmético / JR | 73 | 69 | 66 | 86 | 37 | 46 | 52 | 45 | 63 | 74 | 68 | 58 | 58 | 54 | 77 | 63 | 86 | 87 | 58 | 44 | 57 | 60 | 58 | 78 | 40 | 39 | 49 | 65 | 61 | 61 | 61 | 67.7 |

3.1 Impacto del incremento en la superficie de riego sobre los recursos hídricos

Los resultados obtenidos para el conocimiento del impacto del incremento en la superficie de riego sobre el manejo del recurso hídrico, así como, para determinar los posibles impactos de las modificaciones en el área sembrada sobre la demanda

en el marco de las organizaciones de regantes muestran en promedio que no se presentó una variación significativa en cuanto al área acumulada de siembra entre los periodos 2006-2007 y 2016-2017; 3,952,369 tas y 3,803,049 tas, respectivamente. Estos resultados se reseñan en la tabla 5.

Tabla 5. Comportamiento área acumulada de siembra

Fuente: Departamento de operación y mantenimiento. INDRHI y Juntas de Regantes. Nota: ND. No datos. (-) menor

| No. | JUNTAS DE REGANTES | AREA TOTAL | AREA SEMBRADA ACUMULADA. 2006-2007 (TAS) | AREA SEMBRADA ACUMULADA (TAS). 2016-2017 | MOVIMIENTO AGRICOLA (TAS) |
|-----|----------------------------|------------------|--|--|---------------------------|
| 1 | DAJABON | 48,471 | 56,711 | 40,041 | -16,670 |
| 2 | GENERAL FERNANDO VALERIO | 375,694 | 439,562 | 313,268 | -126,294 |
| 3 | HORACIO VASQUEZ | 227,621 | 266,317 | 217,593 | -48,724 |
| 4 | MAO | 171,360 | 155,938 | 102,395 | -53,543 |
| 5 | ULISES FCO. ESPAILLAT(UFE) | 300,449 | 273,409 | 190,833 | -82,576 |
| 6 | MS. BOGAERT | 102,936 | 93,672 | 55,417 | -38,255 |
| 7 | RIO CAMU | 89,688 | 117,491 | 396,037 | 278,546 |
| 8 | PRESA DE RINCON | 115,822 | 151,727 | 258,479 | 106,752 |
| 9 | JARABACOA | 9,056 | 11,863 | ND | |
| 10 | CONSTANZA | 50,000 | 65,500 | 58,774 | -6,726 |
| 11 | PRESA DE HATILLO | 227,531 | 298,066 | 317,653 | 19,587 |
| 12 | RIO YUNA | 41,313 | 54,120 | 97,329 | 43,209 |
| 13 | AGLIPO I | 127,106 | 169,391 | 277,250 | 107,859 |
| 14 | AGLIPO II | 86,000 | 82,087 | 172,416 | 90,329 |
| 15 | VILLA RIVA | 56,520 | 99,508 | 72,682 | -26,826 |
| 16 | LIMON DEL YUNA | 123,458 | 107,025 | 99,474 | -7,551 |
| 17 | BOBA | 50,009 | 75,715 | 117,417 | 41,702 |
| 18 | NISIBON | 28,500 | 11,115 | 28,287 | 17,172 |
| 19 | GRAL. GREGORIO LUPERON | 37,680 | 14,695 | 6,462 | -8,233 |
| 20 | LA ESPERANZA | 142,576 | 55,605 | 26,772 | -28,833 |
| 21 | NIZAO-VALDESIA | 299,349 | 251,453 | 218,940 | -32,513 |
| 22 | YSURA | 324,067 | 239,810 | 137,115 | -102,695 |
| 23 | PADRE LAS CASAS | 42,000 | 31,080 | 30,837 | -243 |
| 24 | VALLE DE SAN JUAN | 280,000 | 165,200 | 188,859 | 23,659 |
| 25 | MIJO-GUANITO SAN JUAN | 55,884 | 73,208 | 62,026 | -11,182 |
| 26 | DEL VALLE DE NEYBA | 156,182 | 107,766 | 204,205 | 96,439 |
| 27 | TAMAYO | 353,184 | 321,397 | 36,153 | -285,244 |
| 28 | YAQUE DEL SUR | 128,859 | 117,262 | 64,335 | -52,927 |
| 29 | PEDERNALES | 11,594 | 5,449 | 12,000 | 6,551 |
| 30 | SAN RAFAEL DEL YUMA | 21,000 | 19,110 | ND | |
| 31 | CARRERAS DE YEGUAS | 35,792 | 21,117 | ND | |
| | Total | 4,119,701 | 3,952,369 | 3,803,049 | |

Para conocer el impacto del incremento en la superficie de riego sobre los recursos hídricos, se requirió calcular la evapotranspiración de referencia (Eto) mensual en las áreas de influencia de las

organizaciones de usuarios. En la tabla 6, se muestran estos valores calculados por estación climática considerada, usando el programa CROPWAT; el promedio general es de 3.74 mm/día.

Tabla 6. Valores de Eto's por estación climática (mm/día)

Fuente: Elaboración propia

| Mes | Estaciones | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| | Azua | Jarabacoa | Barahona | La Vega | S.J.Maguana | Jimani | Santiago-ISSA | La Antona | Engombe |
| ENE | 2.91 | 2.58 | 2.8 | 2.59 | 2.92 | 2.58 | 2.78 | 2.75 | 2.7 |
| FEB | 3.43 | 2.99 | 3.67 | 3.01 | 3.47 | 3.13 | 3.2 | 3.22 | 3.08 |
| MAR | 4.11 | 3.53 | 4.01 | 3.43 | 3.96 | 3.78 | 3.84 | 3.93 | 3.71 |
| ABR | 4.4 | 3.81 | 4.28 | 3.91 | 4.4 | 4.23 | 4.19 | 4.21 | 4.1 |
| MAY | 4.38 | 3.71 | 4.3 | 4.06 | 4.32 | 4.18 | 4.43 | 4.55 | 3.97 |
| JUN | 4.5 | 3.96 | 4.5 | 4.14 | 4.32 | 4.61 | 4.64 | 4.76 | 3.89 |
| JUL | 4.7 | 4.26 | 4.7 | 4.26 | 4.5 | 4.58 | 4.67 | 4.77 | 4.08 |
| AGO | 4.65 | 4.3 | 4.56 | 4.18 | 4.43 | 4.45 | 4.63 | 4.77 | 4.13 |
| SEP | 4.33 | 3.81 | 4.18 | 3.92 | 4.13 | 3.99 | 4.25 | 4.34 | 3.79 |
| OCT | 3.68 | 3.27 | 3.53 | 3.54 | 3.57 | 3.41 | 3.65 | 3.77 | 3.24 |
| NOV | 3.25 | 2.77 | 3.19 | 2.77 | 3.14 | 2.95 | 3.1 | 3.15 | 2.87 |
| DIC | 2.82 | 2.5 | 2.93 | 2.41 | 2.68 | 2.62 | 2.61 | 2.64 | 2.57 |
| PROM | 3.93 | 3.46 | 3.89 | 3.52 | 3.82 | 3.81 | 3.83 | 3.91 | 3.51 |

La tabla 7 muestra: i) Los valores de Eto promedio anual de las estaciones climáticas seleccionadas con la ubicación de las organizaciones de usuarios en cuencas hidrográficas, ii) Los valores de Kc promedio anual, y iii) la Etp por Organización de usuarios. El valor promedio general que arrojan estas determinaciones es de una Etp de 3.61 mm/día.

En la tabla 8, se observan las necesidades volumétricas de los cultivos por organización de usuarios en los periodos considerados y tomando en cuenta las áreas acumuladas de siembra 2006-2007 y 2016-2017, la variación de Etp en términos volumétricos no fue significativa; 3,209,902,134.69 m³ y 3.179,251,720.51 m³, respectivamente.

3.2 Impacto del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos en el ámbito de las organizaciones de regantes.

La tabla 9 muestra los resultados de estas simulaciones acompañados con el no simulado. Se observa que en términos de promedio general que la: i) Eto no simulada es de 3.74 mm/día, ii) la simulada de +1.5°C es de 4.7 mm/día y iii) la de -1.5°C es de 3.95 mm/día. Los resultados indican que ambos escenarios la Eto es superior al no simulado. En la tabla 10 se muestran los valores de Etp promedio anual considerando los dos escenarios en las áreas de influencia de las organizaciones de usuarios, se observa que la Etp en el escenario de +1.5°C y en el de -1.5°C en promedio son de 4.33 y 3.91 mm/día, respectivamente. La Etp en escenario promedio standard fue de 3.61 mm/día, como fue mencionado anteriormente. Es decir que este valor es inferior en la condición no simulada respecto a los otros dos.

Tabla 7. Valores de Etp por organización de usuario
Fuente: Elaboración propia

| ORGANIZACION DE USARIOS | CUENCA HIDROGRAFICA | ESTACION CLIMATICA | Eto PROMEDIO ANUAL(mm/día) | Kc PROMEDIO ANUAL | Etp PROMEDIO ANNUAL (mm/día) |
|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------------|
| DAJABON | YAQUE DEL NORTE | LA ANTONA | 3.91 | 0.96 | 3.75 |
| GENERAL FERNANDO VALERIO | YAQUE DEL NORTE | LA ANTONA | 3.91 | 0.97 | 3.79 |
| HORACIO VASQUEZ | YAQUE DEL NORTE | LA ANTONA | 3.91 | 1.10 | 4.30 |
| MAO | YAQUE DEL NORTE | SANTIAGO-ISSA | 3.83 | 0.84 | 3.22 |
| ULISES FCO. ESPAILLAT(UFE) | YAQUE DEL NORTE | SANTIAGO-ISSA | 3.83 | 0.92 | 3.52 |
| MS. BOGAERT | YAQUE DEL NORTE | SANTIAGO-ISSA | 3.83 | 1.10 | 4.21 |
| RIO CAMU | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| PRESA DE RINCON | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| JARABACOA | YAQUE DEL NORTE | JARABACOA | 3.46 | 0.79 | 2.73 |
| CONSTANZA | YAQUE DEL NORTE | JARABACOA | 3.46 | 0.79 | 2.73 |
| PRESA DE HATILLO | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| RIO YUNA | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| AGLIPO I | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| AGLIPO II | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| VILLA RIVA | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| LIMON DEL YUNA | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| BOBA | YUNA | LA VEGA | 3.52 | 1.10 | 3.87 |
| NISIBON | ND | ND | ND | | |
| GRAL. GREGORIO LUPERON | ND | ND | ND | | |
| LA ESPERANZA | ND | ND | ND | | |
| NIZAO-VALDESIA | HAINA | ENGOMBE | 3.51 | 0.83 | 2.91 |
| YSURA | TABARA | AZUA | 3.93 | 0.84 | 3.30 |
| PADRE LAS CASAS | YAQUE DEL SUR | SAN JUAN DE LA MAGUANA | 3.82 | 0.97 | 3.71 |
| VALLE DE SAN JUAN | YAQUE DEL SUR | SAN JUAN DE LA MAGUANA | 3.82 | 0.97 | 3.71 |
| MIJO-GUANITO SAN JUAN | YAQUE DEL SUR | SAN JUAN DE LA MAGUANA | 3.82 | 1.10 | 4.20 |
| DEL VALLE DE NEYBA | LAGO ENRIQUILLO | JIMANI | 3.81 | 0.83 | 3.16 |
| TAMAYO | LAGO ENRIQUILLO | BARAHONA | 3.89 | 0.83 | 3.23 |
| YAQUE DEL SUR | LAGO ENRIQUILLO | BARAHONA | 3.89 | 0.83 | 3.23 |
| PEDERNALES | LAGO ENRIQUILLO | BARAHONA | 3.89 | 0.83 | 3.23 |
| SAN RAFAEL DEL YUMA | ND | ND | | | 0.00 |
| CARRERAS DE YEGUAS | YAQUE DEL SUR | SAN JUAN DE LA MAGUANA | 3.82 | 0.97 | 3.71 |

Tabla 8. Necesidades neta volumétrica de agua (Etp) por organización de usuario
Fuente: Elaboración propia

| ORGANIZACION DE USARIOS | Etp PROMEDIO ANUAL (mm/día) | AREA SEMBRADA ACUMULADA. 2006-2007 (TAS) | AREA SEMBRADA ACUMULADA (TAS). 2016-2017 | NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS (ETP). 2006-2007 (m3) | NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS (ETP). 2016-2017 (m3) | DIFERENCIA ETP ENTRE PERIODOS (M3) |
|----------------------------|-----------------------------|--|--|---|---|------------------------------------|
| DAJABON | 3.75 | 56,711 | 40,041 | 48,871,853.0 | 34,506,142.8 | -14,365,710.17 |
| GENERAL FERNANDO VALERIO | 3.79 | 439,562 | 313,268 | 382,747,305.8 | 272,777,180.4 | -109,970,125.34 |
| HORACIO VASQUEZ | 4.30 | 266,317 | 217,593 | 262,973,412.7 | 214,861,138.4 | -48,112,274.32 |
| MAO | 3.22 | 155,938 | 102,395 | 115,179,060.0 | 75,631,083.2 | -39,547,976.81 |
| ULISES FCO. ESPAILLAT(UFE) | 3.52 | 273,409 | 190,833 | 221,178,504.7 | 154,377,352.6 | -66,801,152.14 |
| MS. BOGAERT | 4.21 | 93,672 | 55,417 | 90,603,455.6 | 53,601,628.0 | -37,001,827.60 |
| RIO CAMU | 3.87 | 117,491 | 396,037 | 104,443,991.0 | 352,058,326.8 | 247,614,335.76 |
| PRESA DE RINCON | 3.87 | 151,727 | 258,479 | 134,878,190.0 | 229,775,713.5 | 94,897,523.47 |
| JARABACOA | 2.73 | 11,863 | ND | 7,444,597.6 | ND | ND |
| CONSTANZA | 2.73 | 65,500 | 58,774 | 41,104,370.4 | 36,883,484.9 | -4,220,885.42 |
| PRESA DE HATILLO | 3.87 | 298,066 | 317,653 | 264,966,700.7 | 282,378,625.4 | 17,411,924.76 |
| RIO YUNA | 3.87 | 54,120 | 97,329 | 48,110,142.9 | 86,520,918.2 | 38,410,775.36 |
| AGLIPO I | 3.87 | 169,391 | 277,250 | 150,580,657.9 | 246,462,252.5 | 95,881,594.57 |
| AGLIPO II | 3.87 | 82,087 | 172,416 | 72,971,494.8 | 153,269,741.1 | 80,298,246.38 |
| VILLA RIVA | 3.87 | 99,508 | 72,682 | 88,457,947.1 | 64,610,890.7 | -23,847,056.40 |
| LIMON DEL YUNA | 3.87 | 107,025 | 99,474 | 95,140,207.7 | 88,427,722.7 | -6,712,485.01 |
| BOBA | 3.87 | 75,715 | 117,417 | 67,307,085.5 | 104,378,208.5 | 37,071,123.01 |
| NISIBON | ND | 11,115 | 28,287 | ND | ND | ND |
| GRAL. GREGORIO LUPERON | ND | 14,695 | 6,462 | ND | ND | ND |
| LA ESPERANZA | ND | 55,605 | 26,772 | ND | ND | ND |
| NIZAO-VALDESIA | 2.91 | 251,453 | 218,940 | 168,184,334.1 | 146,438,014.7 | -21,746,319.42 |
| YSURA | 3.30 | 239,810 | 137,115 | 181,753,438.3 | 103,920,281.5 | -77,833,156.88 |
| PADRE LAS CASAS | 3.71 | 31,080 | 30,837 | 26,439,888.4 | 26,233,167.2 | -206,721.13 |
| VALLE DE SAN JUAN | 3.71 | 165,200 | 188,859 | 140,536,343.6 | 160,663,155.7 | 20,126,812.06 |
| MIJO-GUANITO SAN JUAN | 4.20 | 73,208 | 62,026 | 70,624,941.4 | 59,837,485.2 | -10,787,456.21 |
| VALLE DE NEYBA | 3.16 | 107,766 | 204,205 | 78,239,909.8 | 148,256,229.1 | 70,016,319.28 |
| TAMAYO | 3.23 | 321,397 | 36,153 | 238,239,090.4 | 26,798,812.2 | -211,440,278.21 |
| YAQUE DEL SUR | 3.23 | 117,262 | 64,335 | 86,921,757.9 | 47,689,032.2 | -39,232,725.68 |
| PEDERNALES | 3.23 | 5,449 | 12,000 | 4,039,131.7 | 8,895,133.1 | 4,856,001.40 |
| SAN RAFAEL DEL YUMA | 0.00 | 19,110 | ND | ND | ND | ND |
| CARRERAS DE YEGUAS | 3.71 | 21,117 | ND | 17,964,321.8 | ND | ND |
| Total | | 3,952,369.00 | 3,803,049.00 | 3,209,902,134.69 | 3,179,251,720.51 | |
| Nota:(-)menor. | | | | | | |

Con la finalidad de determinar el impacto del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos (Etp) en el ámbito de las organizaciones de usuarios, en términos volumétricos, considerando los dos escenarios de simulación y el área de siembra

acumulada 2016-2017, se preparó la tabla 11. Estos resultados reflejan que se presenta un aumento porcentual de los dos escenarios simulados con respecto al no simulado de 15 %. Y en cuanto a reducción se considera no significativo.

Tabla 9. Valores simulados de Eto (mm/día) por estación climática
Fuente: Elaboración propia, resultados obtenidos en CROPWAT

| Estaciones | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| Azua | | | Jarabacoa | | | Barahona | | | La Vega | | | S.J.Maguana | |
| Eto simulada +1.5oC | Eto simulada -1.5oC | Eto no simulada | Eto simulada +1.5oC | Eto simulada -1.5oC | Eto no simulada | Eto simulada +1.5oC | Eto simulada -1.5oC | Eto no simulada | Eto simulada +1.5oC | Eto simulada -1.5oC | Eto no simulada | Eto simulada +1.5oC | Eto simulada -1.5oC |
| 4.03 | 3.4 | 2.58 | 3.0 | 2.4 | 2.8 | 3.9 | 3.26 | 2.59 | 3.5 | 2.86 | 2.92 | 3.8 | 3.1 |
| 4.44 | 3.8 | 2.99 | 3.4 | 2.8 | 3.67 | 5.6 | 4.94 | 3.01 | 3.9 | 3.23 | 3.47 | 4.4 | 3.6 |
| 5.08 | 4.4 | 3.53 | 3.9 | 3.2 | 4.01 | 4.9 | 4.21 | 3.43 | 4.4 | 3.73 | 3.96 | 4.9 | 4.1 |
| 5.39 | 4.7 | 3.81 | 4.2 | 3.5 | 4.28 | 5.2 | 4.47 | 3.91 | 4.7 | 4.03 | 4.4 | 5.2 | 4.5 |
| 5.41 | 4.7 | 3.71 | 4.1 | 3.4 | 4.3 | 5.2 | 4.48 | 4.06 | 4.9 | 4.14 | 4.32 | 5.2 | 4.4 |
| 5.6 | 4.9 | 3.96 | 4.4 | 3.7 | 4.5 | 5.5 | 4.69 | 4.14 | 5.0 | 4.22 | 4.32 | 5.2 | 4.4 |
| 5.86 | 5.1 | 4.26 | 4.6 | 3.9 | 4.7 | 5.7 | 4.93 | 4.26 | 5.1 | 4.34 | 4.5 | 5.4 | 4.6 |
| 5.78 | 5.0 | 4.3 | 4.7 | 4.0 | 4.56 | 5.6 | 4.81 | 4.18 | 5.0 | 4.28 | 4.43 | 5.3 | 4.5 |
| 5.43 | 4.7 | 3.81 | 4.2 | 3.6 | 4.18 | 5.2 | 4.45 | 3.92 | 4.7 | 3.99 | 4.13 | 4.9 | 4.2 |
| 4.81 | 4.1 | 3.27 | 3.7 | 3.1 | 3.53 | 4.6 | 3.87 | 3.54 | 4.3 | 3.61 | 3.57 | 4.3 | 3.6 |
| 4.42 | 3.8 | 2.77 | 3.2 | 2.6 | 3.19 | 4.3 | 3.58 | 2.77 | 3.7 | 3 | 3.14 | 4.0 | 3.3 |
| 4.02 | 3.4 | 2.5 | 2.9 | 2.3 | 2.93 | 4.1 | 3.38 | 2.41 | 3.3 | 2.69 | 2.68 | 3.6 | 2.9 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 5.02 | 4.3 | 3.46 | 3.9 | 3.2 | 3.89 | 5.0 | 4.25 | 3.52 | 4.4 | 3.67 | 3.82 | 4.7 | 3.9 |

Tabla 10. Valores simulados de Etp por organización de usuarios
Fuente: Elaboración propia; resultados de CROPWAT y estimaciones de Kc

| ORGANIZACIÓN DE USUARIOS | ESTACIÓN CLIMÁTICA | ESCENARIOS. VARIACIÓN DE TEMPERATURA (°C) | Eto PROMEDIO ANUAL (mm/día) | Kc PROMEDIO ANUAL | Etp PROMEDIO ANUAL (mm/día) |
|----------------------------|--------------------|---|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| DAJABON | LA ANTONA | + 1.5 | 4.70 | 0.96 | 4.51 |
| | | - 1.5 | 3.93 | 0.96 | 3.77 |
| GENERAL FERNANDO VALERIO | LA ANTONA | + 1.5 | 4.70 | 0.97 | 4.56 |
| | | - 1.5 | 3.93 | 0.97 | 3.81 |
| HORACIO VASQUEZ | LA ANTONA | + 1.5 | 4.70 | 1.1 | 5.17 |
| | | - 1.5 | 3.93 | 1.1 | 4.32 |
| MAO | SANTIAGO-ISSA | + 1.5 | 4.7 | 0.84 | 3.95 |
| | | - 1.5 | 4.1 | 0.84 | 3.44 |
| ULISES FCO. ESPAILLAT(UFE) | SANTIAGO-ISSA | + 1.5 | 4.7 | 0.92 | 4.32 |
| | | - 1.5 | 4.1 | 0.92 | 3.77 |
| MS. BOGAERT | SANTIAGO-ISSA | + 1.5 | 4.7 | 1.1 | 5.17 |
| | | - 1.5 | 4.1 | 1.1 | 4.51 |
| RIO CAMU | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| PRESA DE RINCON | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| JARABACOA | JARABACOA | + 1.5 | 3.9 | 0.79 | 3.08 |

| | | | | | |
|------------------------|------------------------|-------|------|------|------|
| | | - 1.5 | 3.2 | 0.79 | 2.53 |
| CONSTANZA | JARABACOA | + 1.5 | 3.9 | 0.79 | 3.08 |
| | | - 1.5 | 3.2 | 0.79 | 2.53 |
| PRESA DE HATILLO | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| RIO YUNA | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| AGLIPO I | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| AGLIPO II | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| VILLA RIVA | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| LIMON DEL YUNA | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| BOBA | LA VEGA | + 1.5 | 4.4 | 1.1 | 4.84 |
| | | - 1.5 | 3.67 | 1.1 | 4.04 |
| NISIBON | ND | + 1.5 | ND | | |
| | | - 1.5 | ND | | |
| GRAL. GREGORIO LUPERON | ND | + 1.5 | ND | | |
| | | - 1.5 | ND | | |
| LA ESPERANZA | ND | + 1.5 | ND | | |
| | | - 1.5 | ND | | |
| NIZAO-VALDESIA | ENGOMBE | + 1.5 | 4.36 | 0.83 | 3.62 |
| | | - 1.5 | 3.6 | 0.83 | 2.99 |
| YSURA | AZUA | + 1.5 | 5.02 | 0.84 | 4.22 |
| | | - 1.5 | 4.3 | 0.84 | 3.61 |
| PADRE LAS CASAS | SAN JUAN DE LA MAGUANA | + 1.5 | 4.7 | 0.97 | 4.56 |
| | | - 1.5 | 3.9 | 0.97 | 3.78 |
| VALLE DE SAN JUAN | SAN JUAN DE LA MAGUANA | + 1.5 | 4.7 | 0.97 | 4.56 |
| | | - 1.5 | 3.9 | 0.97 | 3.78 |
| MIJO-GUANITO SAN JUAN | SAN JUAN DE LA MAGUANA | + 1.5 | 4.7 | 1.1 | 5.17 |
| | | - 1.5 | 3.9 | 1.1 | 4.29 |
| VALLE DE NEYBA | JIMANI | + 1.5 | 5.4 | 0.83 | 4.48 |
| | | - 1.5 | 4.6 | 0.83 | 3.82 |
| TAMAYO | BARAHONA | + 1.5 | 5.0 | 0.83 | 4.15 |
| | | - 1.5 | 4.25 | 0.83 | 3.53 |
| YAQUE DEL SUR | BARAHONA | + 1.5 | 5.0 | 0.83 | 4.15 |
| | | - 1.5 | 4.25 | 0.83 | 3.53 |
| PEDERNALES | BARAHONA | + 1.5 | 5.0 | 0.83 | 4.15 |
| | | - 1.5 | 4.25 | 0.83 | 3.53 |
| SAN RAFAEL DEL YUMA | ND | + 1.5 | | | 0.00 |
| | | - 1.5 | | | 0.00 |
| CARRERAS DE YEGUAS | SAN JUAN DE LA MAGUANA | + 1.5 | 4.7 | 0.97 | 4.56 |
| | | - 1.5 | 3.9 | 0.97 | 3.78 |

Tabla 11. Necesidades netas volumétricas de agua (Etp) por organización de usuarios
Fuente: Elaboración propia.

| ORGANIZACIÓN DE USUARIOS | ESCENARIOS. VARIACIÓN DE TEMPERATURA | Etp PROMEDIO ANUAL (mm/día) | ÁREA SEMBRADA ACUMULADA (TAS). 2016-2017 | NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS (ETP). 2016-2017 (m3) | DIFERENCIA ETP ENTRE ESCENARIOS SIMULADOS CON RESPECTO AL NO SIMULADO (M3) | DIFERENCIA PORCENTUAL DE ETP ENTRE ESCENARIOS SIMULADOS CON RESPECTO AL NO SIMULADO |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--|---|--|---|
| DAJABON | No simulado | 3.75 | 40,041 | 34,473,048.69 | | |
| | + 1.5 | 4.51 | 40,041 | 41,459,586.56 | 6,986,537.87 | 20.27 |
| | - 1.5 | 3.77 | 40,041 | 34,656,904.95 | 183,856.26 | 0.53 |
| GENERAL FERNANDO VALERIO | No simulado | 3.79 | 313,268 | 272,582,992.03 | | |
| | + 1.5 | 4.56 | 313,268 | 327,962,650.04 | 55,379,658.01 | 20.32 |
| | - 1.5 | 3.81 | 313,268 | 274,021,424.70 | 1,438,432.68 | 0.53 |
| HORACIO VASQUEZ | No simulado | 4.3 | 217,593 | 214,811,182.29 | | |
| | + 1.5 | 5.17 | 217,593 | 258,272,979.64 | 43,461,797.35 | 20.23 |
| | - 1.5 | 4.32 | 217,593 | 215,810,304.07 | 999,121.78 | 0.47 |
| MAO | No simulado | 3.22 | 102,395 | 75,696,906.56 | | |
| | + 1.5 | 3.95 | 102,395 | 92,858,006.50 | 17,161,099.93 | 22.67 |
| | - 1.5 | 3.44 | 102,395 | 80,868,744.90 | 5,171,838.34 | 6.83 |
| ULISES FCO. ESPAILLAT(UFE) | No simulado | 3.52 | 190,833 | 154,219,627.95 | | |
| | + 1.5 | 4.32 | 190,833 | 189,269,543.40 | 35,049,915.44 | 22.73 |
| | - 1.5 | 3.77 | 190,833 | 165,172,726.53 | 10,953,098.58 | 7.10 |
| MS. BOGAERT | No simulado | 4.21 | 55,417 | 53,563,459.29 | | |
| | + 1.5 | 5.17 | 55,417 | 65,777,454.76 | 12,213,995.47 | 22.80 |
| | - 1.5 | 4.51 | 55,417 | 57,380,332.87 | 3,816,873.58 | 7.13 |
| RIO CAMU | No simulado | 3.87 | 396,037 | 351,876,478.48 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 396,037 | 440,072,908.48 | 88,196,430.01 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 396,037 | 367,333,584.77 | 15,457,106.29 | 4.39 |
| PRESA DE RINCON | No simulado | 3.87 | 258,479 | 229,657,027.70 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 258,479 | 287,219,641.88 | 57,562,614.18 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 258,479 | 239,745,320.91 | 10,088,293.21 | 3.51 |
| JARABACOA | No simulado | 2.73 | ND | | | |
| | + 1.5 | 3.08 | | | | |
| | - 1.5 | 2.53 | | | | |
| CONSTANZA | No simulado | 2.73 | 58,774 | 36,837,606.60 | | |
| | + 1.5 | 3.08 | 58,774 | 41,560,376.67 | 4,722,770.08 | 12.82 |
| | - 1.5 | 2.53 | 58,774 | 34,138,880.84 | -2,698,725.76 | -7.33 |
| PRESA DE HATILLO | No simulado | 3.87 | 317,653 | 282,232,768.70 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 317,653 | 352,973,281.78 | 70,740,513.08 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 317,653 | 294,630,590.58 | 12,397,821.88 | 4.39 |
| RIO YUNA | No simulado | 3.87 | 97,329 | 86,476,227.66 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 97,329 | 108,151,147.77 | 21,674,920.11 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 97,329 | 90,274,925.00 | 3,798,697.34 | 4.39 |
| AGLIPO I | No simulado | 3.87 | 277,250 | 246,334,947.64 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 277,250 | 308,077,815.65 | 61,742,868.01 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 277,250 | 257,155,862.65 | 10,820,915.01 | 4.39 |
| AGLIPO II | No simulado | 3.87 | 172,416 | 153,190,572.88 | | |

| | | | | | | |
|------------------------|-------------|------|---------|----------------|---------------|-------|
| | + 1.5 | 4.84 | 172,416 | 191,587,176.42 | 38,396,603.54 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 172,416 | 159,919,874.53 | 6,729,301.65 | 4.39 |
| VILLA RIVA | No simulado | 3.87 | 72,682 | 64,577,517.27 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 72,682 | 80,763,613.33 | 16,186,096.06 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 72,682 | 67,414,255.76 | 2,836,738.48 | 4.39 |
| LIMON DEL YUNA | No simulado | 3.87 | 99,474 | 88,382,047.18 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 99,474 | 110,534,653.32 | 22,152,606.14 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 99,474 | 92,264,462.69 | 3,882,415.51 | 4.39 |
| BOBA | No simulado | 3.87 | 117,417 | 104,324,294.13 | | |
| | + 1.5 | 4.84 | 117,417 | 130,472,760.61 | 26,148,466.49 | 25.06 |
| | - 1.5 | 4.04 | 117,417 | 108,907,015.06 | 4,582,720.93 | 4.39 |
| NISIBON | No simulado | ND | 28,287 | | | |
| | + 1.5 | | 28,287 | | | |
| | - 1.5 | | 28,287 | | | |
| GRAL. GREGORIO LUPERON | No simulado | ND | 6,462 | | | |
| | + 1.5 | | 6,462 | | | |
| | - 1.5 | | 6,462 | | | |
| LA ESPERANZA | No simulado | ND | 26,772 | | | |
| | + 1.5 | | 26,772 | | | |
| | - 1.5 | | 26,772 | | | |
| NIZAO-VALDESIA | No simulado | 2.91 | 218,940 | 146,272,139.11 | | |
| | + 1.5 | 3.62 | 218,940 | 181,960,530.44 | 35,688,391.33 | 24.40 |
| | - 1.5 | 2.99 | 218,940 | 150,293,366.30 | 4,021,227.19 | 2.75 |
| YSURA | No simulado | 3.3 | 137,115 | 103,882,506.01 | | |
| | + 1.5 | 4.22 | 137,115 | 132,843,689.50 | 28,961,183.49 | 27.88 |
| | - 1.5 | 3.61 | 137,115 | 113,641,165.66 | 9,758,659.66 | 9.39 |
| PADRE LAS CASAS | No simulado | 3.71 | 30,837 | 26,265,733.91 | | |
| | + 1.5 | 4.56 | 30,837 | 32,283,489.66 | 6,017,755.75 | 22.91 |
| | - 1.5 | 3.78 | 30,837 | 26,761,313.80 | 495,579.89 | 1.54 |
| VALLE DE SAN JUAN | No simulado | 3.71 | 188,859 | 160,862,607.94 | | |
| | + 1.5 | 4.56 | 188,859 | 197,717,922.43 | 36,855,314.49 | 22.91 |
| | - 1.5 | 3.78 | 188,859 | 163,897,751.49 | 3,035,143.55 | 1.89 |
| MIJO-GUANITO SAN JUAN | No simulado | 4.2 | 62,026 | 59,809,004.68 | | |
| | + 1.5 | 4.56 | 62,026 | 64,935,490.80 | 5,126,486.12 | 8.57 |
| | - 1.5 | 4.29 | 62,026 | 61,090,626.21 | 1,281,621.53 | 2.14 |
| VALLE DE NEYBA | No simulado | 3.16 | 204,205 | 148,148,399.56 | | |
| | + 1.5 | 5.17 | 204,205 | 242,382,033.46 | 94,233,633.90 | 63.61 |
| | - 1.5 | 3.82 | 204,205 | 179,090,786.81 | 30,942,387.25 | 20.89 |
| TAMAYO | No simulado | 3.23 | 36,153 | 26,809,602.41 | | |
| | + 1.5 | 4.15 | 36,153 | 34,445,774.00 | 7,636,171.58 | 28.48 |
| | - 1.5 | 3.53 | 36,153 | 29,299,658.36 | 2,490,055.95 | 7.23 |
| YAQUE DEL SUR | No simulado | 3.23 | 64,335 | 47,708,233.65 | | |
| | + 1.5 | 4.15 | 64,335 | 61,296,956.55 | 13,588,722.90 | 28.48 |
| | - 1.5 | 3.53 | 64,335 | 52,139,338.94 | 4,431,105.29 | 9.29 |
| PEDERNALES | No simulado | 3.23 | 12,000 | 8,898,714.60 | | |
| | + 1.5 | 4.15 | 12,000 | 11,433,333.00 | 2,534,618.40 | 28.48 |
| | - 1.5 | 3.53 | 12,000 | 9,725,220.60 | 826,506.00 | 9.29 |
| SAN RAFAEL DEL YUMA | No simulado | | ND | | | |

| | | | |
|--------------------|-------------|------|----|
| | + 1.5 | | |
| | - 1.5 | | |
| CARRERAS DE YEGUAS | No simulado | 3.71 | ND |
| | + 1.5 | 4.56 | |
| | - 1.5 | 3.78 | |

Promedio porcentual entre escenarios. Incremento. 15 %

Promedio porcentual entre escenarios. Reduccion. No significativa

Nota:(-):menor.

Tabla 12. Calidad de agua en los sistemas de riego
Fuente: Laboratorio de calidad de agua. INDRHI

| Juntas de Regantes | Canal | Año | Conductividad (CE) (μcm) | pH | RAS |
|---|--------------------------------------|------|--|-----|------|
| General Fdo. Valerio Horacio Vásquez | Canal Fernando | 2007 | 541 | 7.5 | 1.23 |
| | Valerio | 2018 | 1446 | 7.9 | 1.99 |
| Mao Presa Monción | Canal Villa Vásquez | 2007 | 530 | 7.4 | 1.33 |
| | | 2018 | 1328 | 7.6 | 1.52 |
| | Monsieur Bogaert | 2009 | 171 | 7.4 | 0.64 |
| | | 2016 | 226 | 7.7 | 0.65 |
| Presa Rincón | Mao-Gurabo | 2007 | 137 | 6.9 | 0.26 |
| | | 2011 | 134 | 7.1 | 0.24 |
| | | 2004 | 143 | 6.5 | 0.41 |
| Yuna | Canal Yuna | 2013 | 133 | 7.2 | 0.33 |
| | | 2000 | 200 | 7.6 | 0.34 |
| Ysura | Canal Ysura | 2015 | 304 | 7.8 | 0.81 |
| | | 2007 | 357 | 8.2 | 0.60 |
| Constanza | Canal Pantunflas Constanza | 2009 | 447 | 8.4 | 1.47 |
| | | 2011 | 140 | 7.8 | 0.41 |
| | | 2012 | 154 | 7.5 | 0.20 |
| Jarabacoa | Canal Baiguaque Jarabacoa | 2011 | 140 | 7.8 | 0.41 |
| | | 2018 | 154 | 7.5 | 0.20 |
| Rio Camú | Canal Camú-Jamo, La Vega | 2011 | 776 | 7.5 | 1.09 |
| | | 2012 | 637 | 7.8 | 6.31 |
| Ulises Fco. Espaillat | Canal Ulises Fco. Espaillat (UFE) | 2000 | 191 | 7.7 | 0.7 |
| | | 2007 | 210 | 7.3 | 0.57 |
| Nizao-Valdesia | Nizao-Valdesia | 2007 | 360 | 8.2 | 0.37 |
| | | 2010 | 319 | 7.8 | 0.28 |
| Valle de San Juan | José Joaquín Puello | 2000 | 306 | 8.2 | 0.17 |
| | | 2008 | 363 | 6.8 | 0.16 |

Determinar los posibles impactos de las modificaciones de calidad del agua de riego realizado en el marco de las organizaciones de regantes. El Impacto en la calidad del agua de riego en los sistemas de riego después de su transferencia a las Juntas de Regantes, tomado en cuenta los tres indicadores mencionados en la metodología se presentan en la tabla 12.

Es importante señalar que, desde el punto de vista fisicoquímico, los resultados obtenidos en los diferentes años de monitoreos se enmarcan, según la

Norma Ambiental sobre Calidad de Agua y Control de Descargas emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dentro de la clasificación de las aguas superficiales: CLASE A, aguas destinadas al abastecimiento público de agua potable sin necesidad de tratamiento previo, excepto simple desinfección. Aguas destinadas para el riego de vegetales de consumo crudo, y para uso de recreo con contacto directo (eje. Natación). Aguas destinadas a la preservación de la flora y la fauna.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al nivel de desempeño de las Juntas de Regantes, el valor promedio de los 10 parámetros evaluados resultó de 61 %, que las clasifica como aceptables. Entre estos parámetros, el relativo a la situación institucional obtuvo la mayor puntuación con 77 %, y el de gestión ambiental el de menor valoración con 28 %.

El comportamiento total del área acumulada de siembra entre los dos periodos considerados, 2006 – 2007 con 3,952,369 tas y el 2016 – 2017 con 3,803,049, para las 31 organizaciones de regantes estudiadas, se observó una disminución de 149,320 tas; la cual no se considera como significativa; es decir no hubo variación importante en este aspecto.

Partiendo de la premisa, que la transferencia de los sistemas de riego a los usuarios organizados en Juntas de Regantes generaría un mejor aprovechamiento del recurso agua para riego, por lo que se produciría un incremento en el área de siembra; los resultados obtenidos no muestran lo esperado. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que el incremento o disminución del área de siembra en el área de influencia de las organizaciones de usuarios, no solo depende de una buena gestión de estas organizaciones, factores externos influyen en este aspecto, como son, el crédito, urbanización, migración del campo a la ciudad, para mencionar algunos, entre otros; por lo que, es conveniente estudiar a mayor profundidad esta situación para categorizar y en que magnitud, cuales factores inciden en el área de siembra.

Las necesidades netas volumétrica de agua requerida por los cultivos en el área de influencia de las organizaciones de usuarios para su desarrollo presentó resultados cuantitativos similares en los dos periodos considerados en el área acumulada de siembra. Se muestra una disminución entre el 2006-

2007 y el 2016 y 2017 de 30,650,414.18 millones de metros cúbicos de agua.

El impacto del cambio climático sobre las necesidades de agua de los cultivos en el ámbito de las organizaciones de usuarios, considerando dos escenarios de simulación +1.5oC y – 1.5oC en las temperaturas medias máximas y mínimas, en términos volumétricos, en el área acumulada de siembra 2016 – 2017 se concluye que la variación porcentual es de 15 % en ambos escenarios simulados con respecto al no simulado.

En cuanto a la calidad del agua de riego en el ámbito de las organizaciones de usuarios no se presentaron cambios significativos.

Se recomienda continuar con investigaciones adicionales sobre los aspectos tratados en este estudio de manera disgregada. Entre las cuales se pueden mencionar, entre otras:

- Continuar periódicamente la determinación del grado de sostenibilidad financiera, administrativa y técnica de las Juntas de Regantes. Estas organizaciones son las responsables del manejo del agua para fines de riego a nivel nacional; por lo que estas evaluaciones deben sostenerse a los fines de que se generen acciones para corrección de debilidades en la gestión, si es el caso.
- Profundizar mediante investigaciones la determinación de cuáles son los factores internos y externos que han incidido en la no variación del área bajo siembra de las organizaciones de usuarios.
- Determinar el impacto del cambio climático simulado sobre las necesidades de agua de los cultivos en el ámbito de las organizaciones de regantes, usando otros instrumentos de simulación.

Agradecimientos por el financiamiento de esta investigación

-Ministerio de Estado de Economía, Planificación y Desarrollo

-Fondo para el Fomento de la Investigación Económica y Social

Abreviaciones

INDRHI. El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos

CEHICA. Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe

FIES. Fondo para el Fomento de la Investigación Económica y Social

Eto. Evapotranspiración de Referencia

CROPWAT. Crop Water Management

ONAMET. Oficina Nacional de Meteorología

Etp. Evapotranspiración Potencial

Nn. Necesidades netas de riego de los cultivos

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

CE. Conductividad eléctrica

Ph. Medida de acidez o alcalinidad de una disolución

RAS. Relación de absorción de sodio

REFERENCIAS

Caballer, V. (1998). Capítulo 2 Valoración económica del agua de riego, pag. 25.

Chalas, J. (1994). Demanda de Riego Actual y Futura en la República Dominicana.

Doorenbos, J. (1980). FAO. Riego y Drenaje, Vol. 33.

FAO. (1985). Capítulo V, Principales aspectos de la política de riego.

Fuentes, J. (1996). Técnicas de Riego. 2da edición. pp 64-65.

González, A. (2011). Sostenibilidad del Proceso de de Descentralización del Servicio de riego en la República Dominicana.

INDRHI. (2006). Capítulo 4.3, Las Juntas de Regantes, La Gobernanza del Riego.

INDRHI. (2006). El INDRHI en el desarrollo nacional, 1ra edición.

INDRHI. (2006). Las Estadísticas del Agua en la República Dominicana, 1er Edición.

INDRHI. (2006). Las Juntas de Regantes. La Gobernanza del Riego.

INDRHI. (2012). Plan Hidrológico Nacional.

León de Riverside. (2013). Selección de Proyecciones de Cambio climático, para la República Dominicana.

NOVUS. (2008). Efecto de la Temperatura en la Medición de la Humedad Relativa. Servicios NOVUS.

ONAMET. (2006). Oficina Nacional de Meteorología. Departamento de Hidrología del INDRHI.

Como citar este artículo:

Chalas, J., Montilla, J., Méndez, G., Bello, L., García, A., Rodríguez, G. (2020). Evaluación de la Sostenibilidad del Proceso de Descentralización del Servicio del Riego en la República Dominicana. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 90-107. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Redes del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana

Historical review of rainfall-caused shallow landslide, cases: Mexico and Dominican Republic

Pablo Castillo Pérez^{1*}, Lizeth Vergara Farías², Juan Chalas³, Felipe Vicioso⁴

Recibido: 29/10/2019

Aceptado: 21/03/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

Los deslizamientos de terreno superficial causados por la lluvia son fenómenos que ocurren alrededor del mundo bajo determinadas condiciones, y han tenido un fuerte impacto en los ámbitos social, económico y ambiental, lo que lo ha llevado a ser un tema de investigación que se ha estudiado a lo largo del tiempo. En este artículo se muestran casos de deslizamientos de terreno superficiales inducidos por las lluvias provocadas por el huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel, que ocurrió en México, en el estado de Oaxaca, en Septiembre de 2013, así como una reseña sobre los impactos sociales, económicos y ambientales en las zonas más susceptibles de República Dominicana.

Palabras clave: Deslizamiento, lluvias, Impacto.

Abstract

Landslides caused by rain are phenomena that occur around the world under certain conditions, and have had a strong impact in the social, economic and environmental spheres, which has made it a research topic that has been studied over time. This article shows cases of superficial landslides induced by the rains caused by Hurricane Ingrid and Tropical Storm Manuel, which occurred in Mexico, in the state of Oaxaca, in September 2013, as well as a review of the social impacts, economic and environmental in the most susceptible areas of the Dominican Republic.

Keywords: Landslide, Rainfall, Impact.

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, México. pablocp91@gmail.com

2 ISS Ingeniería y Soluciones. ing_lvergara@hotmail.com

3 Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA), República Dominicana. jrchalas@gmail.com

4 Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias (FCAV), Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), República Dominicana. jrchalas@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de terreno (Landslides) representan una amenaza para la vida humana, la infraestructura, para el medio ambiente, en especial en regiones montañosas y zonas con pendientes fuertes. Un deslizamiento se define como un movimiento o deslizamiento de una masa de roca, suelo residual o sedimentos de una ladera, en el cual el centro de gravedad se desplaza moviéndose hacia abajo y hacia el exterior (Terzaghi, 1950). De manera general, este movimiento se debe a la falla del terreno en pendiente que ocurre cuando el esfuerzo que contiene la ladera excede a la fuerza interna que mantiene estable al material del terreno. Estos deslizamientos pueden manifestarse de manera lenta, representándose en mm/año, o de manera rápida, para este caso con deslizamientos de terreno superficiales (Shallow Landslides), este término se refiere a los

movimientos en los cuales el material es desplazado sobre una superficie de deslizamiento cercana a la superficie del terreno, éstos son catalogados, particularmente, como de mayor riesgo natural, debido a que a menudo se convierte en un flujo de escombros de que se mueve rápida y desastrosamente (Lanni, 2012).

La lluvia es, ciertamente, el factor más frecuente en la ocurrencia de los deslizamientos, los eventos extremos de lluvia, de gran intensidad y de larga duración tienen un alto impacto en el desencadenamiento de los deslizamientos superficiales (Iverson, 2000). Aunque para el estudio de este fenómeno se consideran más factores que se involucran en el desencadenamiento de los deslizamientos como los factores Geológicos, Morfológicos, Ambientales e Hidrológicos (Reichenbach et al., 2018) (figura 1).

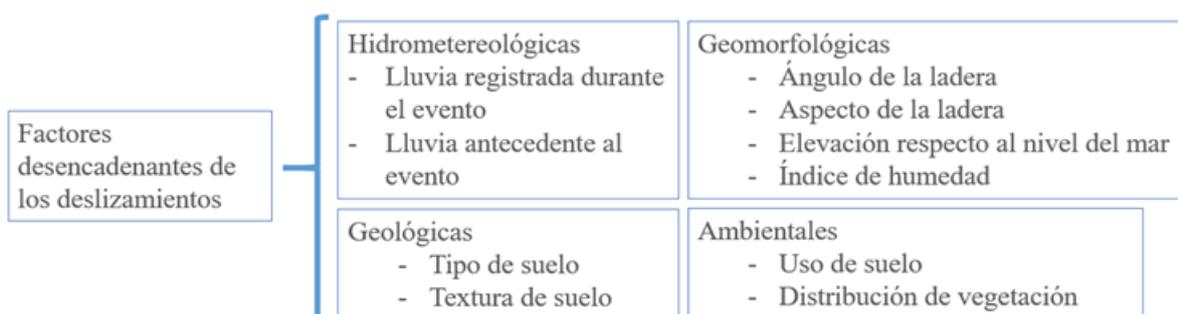


Figura 1. Factores desencadenantes de los deslizamientos

Con la combinación de estos factores el comportamiento de este fenómeno se debe a la infiltración causada por la lluvia que reduce la fuerza de la capa de suelo disminuyendo el efecto positivo en la estabilidad de la ladera debido a la presión de poro negativa (Godt, Baum, & Lu, 2009), la falla de la superficie a menudo corresponde al punto de contacto entre la capa del suelo y la capa menos permeable, donde se desarrolla una capa de agua temporal (Baum, 2010). Los deslizamientos de terreno superficiales tienen un mayor impacto en países en vías de desarrollo debido al incremento en la vulnerabilidad social de comunidades rurales y urbanas. En años recientes, los desastres relacionados a deslizamientos en países de Latinoamérica se han incrementado, por lo que es de suma importancia investigar este tipo de fenómenos, haciendo estudios en campo y mediante bases de datos, esto con la

finalidad de mejorar el conocimiento base para reducir esta vulnerabilidad de poblaciones expuestas a este fenómeno (Alcántara-Ayala & Oliver-Smith, 2014), y de esta manera poder comunicarlo a la población y puedan tener una percepción clara del riesgo al desastre que este fenómeno puede ocasionar (Alcántara-Ayala & Moreno, 2016). Este fenómeno natural causa trastornos sociales cuando los humanos forman parte del entorno construido a su paso. Los deslizamientos de terreno superficial se asocian directamente con la inestabilidad de taludes, que a lo largo de rutas de transporte y en valles montañosos plantea peligros y es una fuente de pérdidas económicas considerables (Turner, 2018). Es por eso que en este artículo se presenta una reseña de eventos de deslizamientos, así como una perspectiva actual que describe el impacto social, económico y natural para México y República Dominicana.

2. RESEÑA DE LOS DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS EN MÉXICO

2.1 Caso práctico, Carretera Tlaxiaco-Putla, Oaxaca

En México los días 14, 15 y 16 de septiembre de 2013 se presentó un evento extraordinario no visto antes, dos fenómenos hidrometeorológicos que

impactaron al mismo tiempo el sur del país, dañando la infraestructura carretera de las redes rurales y alimentadoras en los estados de Oaxaca y Guerrero (Figura 2), afectando a una población de más de 5 millones de habitantes: se trató del huracán Ingrid y la tormenta tropical Manuel.



Figura 2. Ubicación del estado de Oaxaca

Las precipitaciones de estos días dañaron más del 80% de los caminos, en este punto en particular tocamos el caso de una de las principales carreteras de la Mixteca Oaxaqueña, la Carretera Oaxaca-Putla.

En cuanto a nuestra zona de estudio Región Mixteca sus generales son:

- Ocupa el 14% del territorio estatal, el medio físico cambia de árido y semidesértico a boscoso y estepario.
- Tiene 7 distritos en la zona Nochixtlán, Tlaxiaco, Juxtlahuaca, Silacayoapan, Huajuapán, Coixtlahuaca, y Teposcolula.
- La región es muy pobre en apariencia, por los pocos cultivos que se dan en ella, las montañas de la zona tienen depósitos de antimonio, zinc, plata, oro hierro, mercurio y otros minerales.
- En Tlaxiaco sus cumbres principales son el Cerro Negro y Yucunino.
- En la región sureste de Teposcolula predominan encinos enanos como vegetación, al norte de Huajuapán su vegetación está constituida de órganos.

La erosión se presenta en toda la Mixteca, tanto así que ha sido citada como un lugar con el peor grado de erosión existente, y se considera que si esta continua se puede convertir en desierto y perder toda su tierra cultivable. Aunque existe esta gran erosión y una pobreza regional los habitantes siembran en los pequeños valles y laderas maíz, frijol, papa, chile y algunas frutas insuficientes para la región.

2.2 Fenómenos hidrometeorológicos

La República Mexicana es afectada año con año por fenómenos hidrometeorológicos que ocasionan muchos daños, pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales, la región Sur-Sureste del país es la zona que generalmente se ven afectadas con mayor frecuencia.

Es la primera vez en la historia reciente que dos fenómenos meteorológicos de esa magnitud impactan en un mismo día por el Golfo de México y el Océano Pacífico, la última vez que esto sucedió fue en 1958.

Por un lado, el Huracán Ingrid fue el segundo y más destructivo de los que se presentaron en la temporada ese año, alcanzó la categoría uno en la escala de Saffir-Simpson, ocasionando lluvias torrenciales, al momento de combinar su efecto con la tormenta tropical Manuel que fue el decimosexto ciclón

tropical de ese mismo año en la zona Pacífico, pero alcanzo categoría uno y fue el más destructivo de la temporada. Provocando el desgajamiento de cerros, el desbordamiento de presas y ríos, la afectación de carreteras, el aislamiento de pueblos enteros, daños a viviendas y la pérdida de vidas humanas. Estados más afectados: Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Hidalgo.

2.3 Carretera Talxiaco-Putla

La Carretera 125 D (figura 3), comunica a TLAXIACO la segunda ciudad de más importancia en la Mixteca, con PUTLA capital del Distrito de Sierra Sur.

- 87.5 km de infraestructura carretera Pavimentada para dos vehículos
- Se observó zona con alcantarillas en cañadas, y cunetas

- Enclavada en la región Mixteca donde el valle de la población actual se encuentra bordeado de varios ríos, entre los cuales destacan Cópala, La Cuchara, Yutee, y la Purificación
- Sierra Sur una región de clima cálido y lluvioso en verano y templado en invierno
- En la flora se pueden mencionar algunos árboles de maderas preciosas y básicamente, árboles endémicos del clima templado
- Zona en su mayoría arcillosa, y algunas zonas con arcilla arenosa
- Zona de ríos cercana a Putla se cuenta con rocas de gran tamaño



Figura 3. Zona de estudio de la carretera 125D, Carretera Tlaxiaco-Putla, Mixteca Oaxaqueña

La carretera Talxiaco-Putla de la Mixteca Baja, Costa, Sierra Sur e Istmo, comunica 29 Poblaciones entre sí, es una zona con alta marginalidad y pobreza, y en el sitio de manera particular resultaron más de 45 mil personas afectadas y 10 personas fallecidas estos días, así mismo la red carretera resulto con afectaciones del 30% al presentarse fallas de taludes, deslaves (figura 4).

Anteriormente en la región Sur han sucedido otros fenómenos hidrometeorológicos ocasionando muchos daños, por lo que se comenzó a trabajar en un plan

estratégico para restablecer en dos semanas vías de comunicación y servicios básicos, ya que no existe otra vía de comunicación de estas poblaciones, y se logró gracias a la experiencia en los planes de contingencia que se tienen desde el anterior fenómeno grave que afectó la región el huracán Carlota Jun 2012. La mayoría de los distritos de la Mixteca sufrieron incomunicación debido a la gran cantidad de deslaves y cortes, que ocasionaron escurrimientos pluviales masivos, así como el crecimiento de los ríos y arroyos de la región.



Figura 4. Fotos de la zona días posteriores al evento 20 de Septiembre 2013



Figura 5. Daños en estructuras viales en los distritos de la Mixteca

Se observa grandes daños presentados en la zona (figura 5), se desgajaron cerros y generaron problemas en los taludes de las carreteras, las redes eléctricas sufrieron daños y hubo pérdida de varios postes eléctricos por erosión. Dentro del recorrido se presentaron particularmente varias fallas en los taludes, derrumbes, deslaves, y fallas en alcantarillas a continuación se presentan algunos kilometrajes particulares.

2.3.1 Km 96+700 (Alcantarillas insuficientes, sobrepasa carpeta asfáltica)

Los escurrimientos sobrepasaron la carpeta asfáltica, generando inestabilidades y erosión en los cimientos del muro cabezal que recibía la alcantarilla, por lo que se perdió esta estructura, aunado a esto la alcantarilla se satura de material de arrastre y se obstruye, generando saturación en el cuerpo del terraplén y pérdida del mismo por erosión (figura 6).

2.3.2 Km 97+700 Falla rotacional por saturación y erosión al pie de talud

Deslave, Falla local rotacional, por la verticalidad de su escarpe, se tuvo que remover el terreno fallado y

reestructurar con un muro mecánicamente estabilizado desplantado en zona fuera de falla, se debe prestar especial atención al drenaje de la zona, ya que es propensa a más fallas (figura 7).



Figura 6. Deslizamientos en el tramo Km 96+700



Figura 7. Falla en carpeta asfáltica provocada por deslizamiento en el Km 97+700

2.3.3 Km 100+960 Debris Flow, Flujo de detritos

Deslizamiento en flujo, dentro de los 87.5 km recorridos se observaron varios sitios con flujo de detritos, donde causaron grandes daños, sobrepasaron las carpetas asfálticas, y barrieron con todo a su paso, árboles, casas, cultivos, en estos puntos críticos se

recomendó hacer un estudio más a detalle para poder trabajar algún proyecto en particular como presas filtrantes y de retención de sólidos a lo largo del fenómeno para mitigar el riesgo a la población (figura 8).

2.3.4 Km 100+900 al 101+100

Uno de las dos fallas más grandes de todo el tramo, con gran pérdida de volumen en Terraplén de camino, pérdida total de pavimento, erosión en taludes y en talud de terraplén, la falla en su mayoría fue provocada por el aumento de velocidad en cañada y en la obstrucción de alcantarillas (figura 9). Aunado a todas las fallas presentadas por este evento, se detectaron algunos sitios que presentan las líneas de erosión muy marcadas que eventualmente ocasionaran fallas si no son tratados debidamente (figura 10). En general observamos que la zona de la Mixteca fue muy dañada por el evento ya que presenta mucha erosión, debido a la sobre

explotación de sus recursos madereros (tabla 1). Se recomienda generar una campaña de detección de probables zonas de falla para comenzar la cultura de prevención de riesgos. Se tuvo que reconstruir gran parte del camino para afrontar los próximos eventos meteorológicos que pudieran presentarse, dentro de los que se encontraron, ampliación de las capacidades hidráulicas de las obras de drenaje, reconstrucción de muros de gaviones, y mecánicamente estabilizados, presas de gavión en laderas para retención de sólidos.

El contar con la seguridad en esta infraestructura carretera es esencial para el buen funcionamiento comercial y de servicios de la zona en la región Mixteca.



Figura 8. Flujo de detritos ocasionado por deslizamiento de terreno superficial en el Km 100+960



Figura 9. Deslizamientos en el tramo del Km 100+900 al 101+100

Tabla 1. Resumen de eventos presentados y soluciones propuestas para estabilización

| Kilometraje | Falla | Solución Propuestas |
|------------------------------|---|---|
| Km 80+700 | Saturación de alcantarilla, escurrimiento sobrepaso carretera asfáltica, erosión a pie de muro provocando falla de muro | Muro mecánicamente estabilizado, con especial atención a protección contra erosión en la salida de alcantarilla, presa de retención de sólidos en cañada para evitar saturación con palizadas. |
| Km 87+500 | Falla de talud vertical por saturación y erosión | Revestimiento de talud con Geomanta Plástica y Malla Metalica para refuerzo. |
| Km 96+000 | Falla local sobre terraplén, se detecta un deslizamiento traslacional, se ve antiguo, la lluvia acelero el proceso de falla. | Se requiere levantar carpeta y detectar profundidad de falla para reconstruir un muro mecánicamente estabilizado con especial atención a los drenajes e incluir análisis de falla global para aumentar los factores de seguridad. |
| Km 96+700 | Falla de muro por erosión al pie del cimiento, obstrucción de alcantarilla, perdida de alcantarilla y muro. | Reconstrucción de estructura de terraplén con un muro mecánicamente estabilizado, y alcantarillas, generar presas retenedoras de sólidos para controlar arrastres. |
| Km 97+700 | Falla local rotacional, por la verticalidad de su escarpe se tiene que remover todo el volumen de falla | Reconstrucción de estructura de terraplén con un muro mecánicamente estabilizado, con protección de erosión a pie de muro |
| Km 100+960 | Deslizamiento en flujo que saturo alcantarillas, solamente una está en funcionamiento de las dos colocadas | Construcción de presas retenedoras de solidos y disminución de velocidades |
| Km 100+960 al 101+100 | Zona de las más afectadas, deslizamiento de talud, formación de carcava de erosión, erosión de talud donde se desplantaba el terraplén de la carretera, casas dañadas | Construcción de presas retenedoras de solidos y disminución de velocidades en la zona de carcavas, limpieza del talud y control de erosión con biomantos o mantos plásticos, con Malla Doble Torsión, generación de terrazas para reconstrucción de carretera con muros mecánicamente estabilizados y alcanzar el nivel de carretera, puede ser muro vegetado o de piedra dependiendo de la cantidad en la zona |
| Km 102+400 | Taludes erosionados por la lluvia, la corriente de arrastre acabó con la estructura carretera, se tiene una gran erosión a lo largo y pie del talud, se llevó la tubería colocada como alcantarilla y el muro seco que se tenía como cabezal. | Terrazas de muros mecánicamente estabilizados el nivel de carretera, y proteger las alcantarillas con presas de control de sólidos, además del revestimiento del talud con geomanta y malla triple torsión. |
| Km 103+300 | Falla sobre estructura de terraplén de forma rotacional, perdiendo un carril enteramente de circulación, debido a la erosión del talud, y saturación de terraplén. | Limpiar en la falla todo el volumen de material suelto, y construir sobre esta un muro mecánicamente estabilizado, con especial atención en el drenaje del muro, y control al pie del mismo. |
| Km 104+200, 105+300, 105+800 | Taludes erosionados por la lluvia | Revestimiento de talud con Geomanta Plástica y Malla Doble Torsión, además colocación de muros alcancía para control de graneeo |
| Km 106+600 | Falla por erosión en cárcava, el escurrimiento sobrepaso las capacidades hidráulicas instaladas en la estructura del terraplén haciéndolo colapsar en gran parte del talud. | Reconstruir con terrazas de muros mecánicamente estabilizados, y buen control de alcantarillas, y cunetas |
| Km 106+900 | El control hidráulico de los escurrimientos es insuficiente, la estructura al ser un muro seco y no permeable recibe grandes empujes hidrostáticos, ya se observa una falla de muro, socavaciones en cimentación de las nuevas estructuras, también en la cuneta superior se genera una vorticidad que esta generando socavación en el muro lateral | Se recomienda generar un muro mecánicamente estabilizado cara piedra, y un control de escurrimientos, alcantarillas, cunetas y geodrenes en la parte de talud, para controlar las saturaciones y los niveles de agua freáticos de la zona. Además de que los controles hidráulicos se logren con escaleras disipadoras |
| Km 117+800 | La estructura colapso en su totalidad, teniendo que reconstruir todo el cuerpo del terraplén y colocándole alcantarillas para poder controlar el flujo. | Sustituir el terraplén actual por un terraplén reforzado, pero que cuente con una alcantarilla de gran claro. |
| Km 120+900 | En este cadenamiento se observo saturación de alcantarillas, rebase de carpeta asfáltica, socavación de muros cabezales, y generación de cárcavas. | Colocar muros mecánicamente estabilizados, así como la protección con presas de retención de solidos de las alcantarillas, o en su defecto colocar una alcantarilla de gran claro, también se recomienda proteger las cárcavas y generar presas de retención de solidos. |

3. RESEÑA DE LOS DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS EN REPÚBLICA DOMINICANA

3.1 Ámbito geográfico y climático

Como en muchos países de la región, la ocurrencia de estos fenómenos forma parte de una amplia gama de movimientos en masa causados por el agua y el efecto de la gravedad, principalmente. En República Dominicana existen condiciones naturales que favorecen los movimientos de masas más bruscos, como los derrumbes y deslizamientos, debido a que más del 60% del territorio presenta relieve irregular con pendientes inclinadas a muy escarpadas, un clima húmedo a sub-húmedo intertropical con alta frecuencia de eventos climáticos extremos, altas precipitaciones y altas temperaturas, además, sequías estacionales cada vez más frecuentes por causas atribuibles a tendencias o manifestaciones de cambios climático. Sin omitir la alta vulnerabilidad sísmica debido al origen y a la ubicación del país en el arco de las Antillas, debido al impacto potencial de los terremotos en los derrumbes y deslizamientos. Algunos estudios han hecho énfasis de forma general en la problemática de los derrumbes y deslizamientos por la amenaza que representan para grandes núcleos poblacionales que ocupan áreas muy vulnerables a estos fenómenos, cuyos efectos solo adquieren relevancia, visibilidad y atención limitada de forma ocasional durante la ocurrencia de eventos extremos como huracanes y tormentas.

3.2 Contexto biofísico

El capital natural de la Rep. Dominicana ha sido impactado de forma significativa en las últimas décadas debido a cambios de uso de la tierra importantes y reducción de la masa boscosa para dar paso a la ganadería extensiva, una cuña urbana en suelos de montaña con fines eco-turístico y la agricultura intensiva. Estos cambios han impactado el régimen hidrológico forestal, y los flujos de escorrentía, creando condiciones de torrencialidad que contribuyen a movimientos de partículas por erosión hídrica y por remoción masal. A ello contribuye, además, la predominancia de suelos muy susceptibles a estos fenómenos, debido a su origen a partir de materiales poco consolidados provenientes de rocas sedimentarias en mayor proporción, que generan características físicas tales como texturas franco gruesas y gruesas, con débiles desarrollo estructural que favorecen los derrumbes, o bien,

sustrato de granulometría fina que actúan como planos de deslizamientos de grandes masas de suelo.

3.3 Áreas más afectadas

En este contexto, las áreas con mayor potencial de afectación lo constituyen caminos y vías de importancia que presentan taludes sin revegetación ni obras mecánicas para contrarrestar los derrumbes y deslizamientos y disminuir riesgos de accidentes fatales; obras de infraestructuras hidráulicas, como presas de uso múltiples, canales de riego y obras de toma para acueductos, y núcleos poblacionales que habitan áreas de piedemontes. Además, áreas próximas a fallas activas como el caso del límite norte del Valle del Cibao con la falla Septentrional, debido a que este valle constituye la principal zona agrícola de la República Dominicana, y esta falla es la más importante de casi toda la región caribeña. En términos territoriales, la mayor susceptibilidad corresponde a las cuencas hidrográficas localizadas hacia la región sur, sur central y suroeste y, en menor medida, en las zonas norcentral y noroeste del país. En estas zonas existe una alta densidad poblacional y un importante desarrollo hidráulico. En general, los núcleos poblacionales más vulnerables se ubican en áreas bajas y en laderas con pendiente muy inclinadas donde han construido viviendas. Estas situaciones son muy comunes en cinturones de miseria alrededor de grandes ciudades y particularmente en la región nordeste, donde se presentan las mayores precipitaciones en la época lluviosa.

3.4 Contexto político-estratégico

A pesar del impacto de esos movimientos masales en términos económicos, debidos al azolvamiento de obras de infraestructuras hidráulicas de gran valor estratégico para el país, y en la obstrucción de vías y las pérdidas humanas que pueden causar entre la población, entre otras consecuencias, no existen políticas y estrategia definidas por parte del Estado que contribuyan a mitigar o disminuir los riesgos descritos. Hasta el momento, no existe ninguna disposición para la creación de organismos especializados para su atención ni se han priorizado la formulación de estudios específicos y propuestas concretas para la solución de los impactos de los derrumbes y deslizamientos en la economía y la seguridad de las personas; la mayoría de obras viales presentan taludes con pendientes inadecuadas que no reciben el tratamiento indicado para controlar los movimientos en masa, debido a fallas de supervisión

y/o problemas de diseño, y costosas obras son afectadas reduciendo su vida útil. Y se carece de un instrumento legal de valor como es una Ley de Ordenamiento Territorial. En este contexto, las perspectivas futuras apuntan a una intensificación de la problemática analizada, debido a las consecuencias de las debilidades y falencias institucionales y la cada vez mayor incidencia de los cambios climáticos globales, en cuya discusión en foros nacionales e internacionales se ha establecido la alta vulnerabilidad de países insulares como la República Dominicana.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo se presenta una breve reseña sobre eventos relacionados con deslizamientos de terreno

superficiales, considerando a la lluvia como principal factor de detonación. Se describieron los desastres ocasionados por los deslizamientos que fueron inducidos por el huracán Ingrid en combinación con la tormenta tropical Manuel, en México, en el estado de Oaxaca, en la carretera 125 D que comunica a Tlaxiaco, la segunda ciudad más importante en la zona conocida como la Mixteca, con el municipio de Putla, la capital del distrito de la sierra sur, en donde se mostraron los daños en los diferentes tramos de esta carretera. De igual manera, se presentó un análisis sobre los impactos sociales, económicos y ambientales que pueden ocasionar los deslizamientos en las regiones más susceptibles de República Dominicana.

REFERENCIAS

- Alcántara-Ayala, I., & Oliver-Smith, A. (2014). ICL Latin-American Network: On the road to landslide reduction capacity building. *Landslides*, 11(2), 315–318. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0464-7>
- Alcántara-Ayala, I., & Moreno, A. R. (2016). Landslide risk perception and communication for disaster risk management in mountain areas of developing countries: a Mexican foretaste. *Journal of Mountain Science*, 13(12), 2079–2093. <https://doi.org/10.1007/s11629-015-3823-0>
- Baum, R. L., Godt, J. W., & Savage, W. Z. (2010). Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(3). <https://doi.org/10.1029/2009JF001321>
- Godt, J. W., Baum, R. L., & Lu, N. (2009). Landsliding in partially saturated materials. *Geophysical Research Letters*, 36(2), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2008GL035996>
- Iverson, R. M. (2000). Landslide triggering by rain infiltration. *Water Resources Research*, 36(7), 1897–1910. <https://doi.org/10.1029/2000WR900090>
- Lanni, C. (2012). Hydrological controls on the triggering of shallow landslides: from local to landscape scale. Tesis Doctoral, Università Degli Studi Di Trento, Italia.
- Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180(November 2017), 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Terzaghi, K. (1950). Mechanism of Landslides. In *Application of Geology to Engineering Practice*. <https://doi.org/10.1130/berkey.1950.83>
- Turner, A. K. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 25–27. <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0175-y>

Como citar este artículo:

Castillo, P., Vergara, L., Chalas, J., Vicioso, F. (2020). Revisión histórica de los deslizamientos de terreno superficiales causados por lluvias, casos: México y República Dominicana. *Aqua-LAC Volumen 12(1)*, 108-117. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina e Introducción al programa GGMN

Current Status of Groundwater Monitoring in Latin America and Introduction to the GGMN Program

Aqua-LAC
Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Claudia Ruz Vargas^{1*}, Lucía Samaniego², Miguel Rangel Medina³

Recibido: 24/10/2019

Aceptado: 08/04/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

El monitoreo, o vigilancia del agua subterránea, es la principal herramienta para conocer el comportamiento general de un acuífero, que permite mejorar su gestión y tomar medidas para su manejo sustentable. La falta de monitoreo sistemático del agua subterránea es uno de los obstáculos para la gestión sostenible. Por ello, el Centro Internacional para la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos (IGRAC por sus siglas en inglés), situado en Delft (Holanda) ha desarrollado la Red Global de Monitoreo de Aguas Subterráneas (GGMN), programa que tiene como objetivo mejorar la calidad y accesibilidad a la información del monitoreo a nivel global y, con ello, mejorar el conocimiento sobre el estado del recurso. Así mismo, el Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas (CeReGAS), ubicado en Montevideo (Uruguay) es un organismo que tiene como objetivo apoyar a países de América Latina a mejorar la gestión sustentable de sus aguas subterráneas proporcionando las capacidades científicas y técnicas para apoyar el desarrollo sostenible del recurso a través de un enfoque integrado. En este trabajo, CeReGAS e IGRAC, a través del programa GGMN, presentan una aproximación al estado del monitoreo cuantitativo de las aguas subterráneas en América Latina. El estudio muestra que existen situaciones diversas en la región. Se presenta el relevamiento realizado y sus resultados, con ejemplos de redes nacionales de Brasil y Chile, redes locales, con el caso de Argentina, y la ausencia de redes de monitoreo, con el caso de Honduras.

Palabras clave: América Latina, cooperación internacional, monitoreo, nivel agua subterránea, vigilancia

Abstract

Groundwater monitoring is the main tool to know the general behavior of an aquifer, which allows improving its management and taking measures for its sustainable use. Lack of systematic groundwater monitoring is one of the obstacles to sustainable management. For this reason, the International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), located in Delft (The Netherlands) has developed the Global Groundwater Monitoring Network (GGMN), a program that aims to improve the quality and accessibility of groundwater monitoring information at a global level and subsequently the knowledge on the state of groundwater resources. Similarly, the Regional Center for Groundwater Management (CeReGAS), located in Montevideo (Uruguay) is an organization that aims to support Latin American countries to improve the sustainable management of their groundwater resources by providing scientific and technical capabilities to support the sustainable development of the resource through an integrated approach. In this work, CeReGAS and IGRAC, through the GGMN program, present an approach to the status of quantitative groundwater monitoring in Latin America. The study shows that diverse conditions can be found in the region. Analyses and their results are presented, with examples of national networks in Brazil and Chile, local networks, as is the case in Argentina, and the absence of monitoring networks, as is the case in Honduras.

Keywords: groundwater level, international cooperation, Latin America, monitoring, surveillance.

1 Centro Internacional para la Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos. claudia.ruz-vargas@un-igrac.org

2 Centro Regional para la Gestión de Agua Subterráneas en América Latina y el Caribe. lsamaniego@ceregass.org

3 Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo. info@alhsud.com

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea representa cerca del 30% del agua dulce en el mundo (USGS, 2016). Es un recurso vital para el abastecimiento de agua potable para consumo humano, la agricultura y otros usos, incluyendo el del medio natural, con alcance para cubrir parcialmente la adaptación a la variabilidad climática. De aquí que el estado de estos recursos hídricos subterráneos deba ser monitoreado continuamente para establecer las bases para su evaluación y gestión sostenible.

El monitoreo de agua subterránea tiene dos propósitos: la observación de calidad y/o la cantidad, y ambas se realizan en muchas partes del mundo. Sin embargo, es difícil obtener información sobre estas redes, ya que muchas veces se encuentra dispersa o no está disponible directamente para el público en general. Al no conocerse el estado y las características de los planes de vigilancia, no se puede determinar si estos son representativos (si son adecuados o suficientes) o si siguen en funcionamiento. Por otro lado, estos datos dan una pista acerca de cómo cada país gestiona sus aguas subterráneas, ya que el monitoreo es un paso clave hacia la gestión sostenible del recurso.

IGRAC, como centro internacional para la evaluación del agua subterránea (categoría II de la UNESCO), facilita y promueve el intercambio internacional de información y conocimiento necesario para el desarrollo sustentable de las aguas subterráneas, siendo esta una de sus principales iniciativas: su red global de monitoreo de las aguas subterráneas o programa GGMN.

En el proceso de integración de países a la red GGMN se debe recopilar una gran cantidad de información, ya sea a través de talleres regionales, páginas web oficiales de gobiernos y ministerios o de los contactos oficiales de IGRAC. Un ejemplo es el tercer Taller Regional de GGMN, realizado en diciembre de 2013 en las oficinas de la UNESCO en Montevideo, Uruguay, cuyo objetivo fue intercambiar información, experiencias y perspectivas sobre el monitoreo del agua subterránea en América Latina, además de dar a conocer el programa en la región (IGRAC1, 2014). Uno de los resultados del taller fue la creación del primer reporte de IGRAC sobre el estado de las redes de monitoreo del agua subterránea en Latinoamérica y la adición de Brasil, Ecuador y Colombia a la plataforma web.

Por su parte, CeReGAS, como centro regional para la gestión del recurso subterráneo (categoría II de la UNESCO), tiene el alcance y la presencia necesaria para facilitar el intercambio de conocimientos, experiencias e información entre los países de América Latina y el Caribe, con los cuales tiene vinculación a través de diferentes actividades y proyectos.

Considerando estos antecedentes, ambos centros han decidido realizar una revisión de las redes de monitoreo en América Latina, utilizando como base la información recopilada gracias al programa GGMN y el trabajo de CeReGAS. Este documento presenta un primer acercamiento al estado de las redes, con una breve descripción de los hallazgos más significativos del programa conjunto, tomando como fuentes de información antecedentes existentes, bibliografía, páginas web de organismos estatales y consultas con informantes calificados de cada país.

2. ANTECEDENTES

En América Latina, la distribución del agua subterránea varía enormemente según los diferentes países y regiones, así como también su calidad y accesibilidad, lo que lleva a que los mismos deban enfrentar problemas y desafíos de diferente índole. Un ejemplo sucede en Argentina, cuya capital se enfrenta a la elevación progresiva estacional de los niveles freáticos, lo que hace que el recurso sea más vulnerable a la contaminación. Por otro lado, en Bolivia, la calidad del agua subterránea está siendo amenazada por la contaminación industrial, agropecuaria y doméstica; mientras que en Honduras, la alta demanda de agua en las zonas urbanas amenaza la futura disponibilidad de este recurso o Belice, donde los efectos de la intrusión salina amenazan ecosistemas y eventualmente su economía (IGRAC1, 2014, IANAS & UNESCO, 2015).

En este trabajo se realiza un relevamiento del estado de situación de las redes de vigilancia cuantitativas de 19 países: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Además, se analizó la calidad de los datos recopilados y se consideró que en primer lugar estas redes estén abiertas al público y de qué manera se hacen disponibles.

3. RESULTADOS

De los 19 países, ocho (8) cuentan con un claro programa de monitoreo a nivel nacional publicado: Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, México, Perú y Venezuela. Argentina no cuenta con una red nacional pero sí presenta varias redes locales. En el caso de Bolivia, Paraguay y Uruguay existe una red para monitorear acuíferos en particular: Acuífero Purapurani, Acuífero Patiño y Acuífero Raigón. En la tabla 1 se describe la institución responsable de la gestión de las aguas subterráneas en cada país y se

indica si existe un plan nacional de monitoreo de aguas subterráneas con una red de monitoreo en funcionamiento.

En un país no se ha podido establecer la existencia de una red de monitoreo de agua subterránea, ya que se ha encontrado información incompleta o contradictoria. Es el caso de Cuba, en el cual una sola fuente no oficial de información acredita la existencia de dicha red y por esta razón se ha preferido omitir esta información.

Tabla 1. Situación del monitoreo de las aguas subterráneas en América Latina

| País | Institución responsable de la gestión de los recursos hídricos | Red nacional de monitoreo de aguas subterráneas |
|-------------|---|---|
| Argentina | Gobiernos provinciales | No |
| Belice | Ministerio de Recursos Naturales e Inmigración (MNRA) | No ^a |
| Bolivia | Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) | No |
| Brasil | Agência Nacional de Águas (ANA) - Servicio Geológico de Brasil (CPRM) | Sí |
| Chile | Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas (DGA) | Sí |
| Colombia | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) | Sí |
| Costa Rica | Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) - Dirección de Agua | Sí |
| Cuba | Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) - Servicio Hidrológico Nacional | - |
| Ecuador | Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) | No ^b |
| El Salvador | Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) - Área de Hidrología Subterránea | Sí |
| Guatemala | Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) | No ^a |
| Honduras | Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente) | No ^c |
| México | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SERMANAT) - Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) | Sí |
| Nicaragua | Autoridad Nacional del Agua (ANA) | No ^a |
| Panamá | Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) | No ^a |
| Paraguay | Secretaría del Ambiente (SEAM) | No |
| Perú | Ministerio de Agricultura y Riego– Autoridad Nacional del Agua (ANA) | Sí |
| Uruguay | Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) | No ^d |
| Venezuela | Ministerio del Poder Popular para el Ambiente de Venezuela (MinAmb) - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología | Sí |

Fuentes: ^aIGRAC¹ (2014), ^bSecretaría del Agua (2016), ^cGWP (2017), ^dMVOTMA (2017)

En varios casos, la organización que administra la red no es necesariamente quien recoge y procesa los datos. En Colombia, por ejemplo, el IDEAM conforma la Red Básica Nacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas (RBASUB) a partir de acuerdos con las Corporaciones Autónomas Regionales que administran sus propias redes de vigilancia, usando lineamientos nacionales (IDEAM1, 2015).

En Argentina sucede algo similar con la Red Hidrológica Nacional perteneciente al Estado Federal, a la cual se planea integrar estaciones de monitoreo de aguas subterráneas propias pero que por el momento incorpora de forma esporádica información de algunas de las redes locales existentes en varias partes del territorio argentino. Algunos ejemplos de redes locales de monitoreo de agua subterránea en Argentina son las existentes en las localidades de Azul (BDH Azul, 2018) y Cuenca Matanza Riachuelo (BDH-CMR, 2018), que son mantenidas por el Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA); la red de la ciudad de Santa Fe (Diario El Litoral, 2010), mantenida por el Grupo de Investigaciones Geohidrológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral; la Red Solidaria de Intercambio de Información Hídrica (RSIIH, 2018) administrada por el Instituto Nacional del Agua (INA), y la Red Mate

(Red Mate, 2018), que incluye como participantes, entre otros, a la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Algunas de estas redes están integradas en la Red Hidrológica Nacional Argentina nombrada anteriormente (red de monitoreo del INA, BHD-Azul y Red Mate).

Entre los países que no cuentan con una red a nivel nacional se han encontrado diversas situaciones. En Guatemala, por ejemplo, se reconoce la existencia de compañías que monitorean el recurso para distribuir agua potable; sin embargo, esto ocurre independientemente del gobierno central y la información no está disponible para el público general (IGRAC1, 2014). En el caso de Uruguay, la empresa de abastecimiento público de agua potable realiza controles anuales de sus pozos y además existen planes de monitoreo puntuales, como en el caso del Acuífero Raigón, no existiendo actualmente una red de vigilancia continua a escala nacional (MVOTMA, 2017).

La tabla 2 agrupa las características más importantes de las redes de monitoreo de cada país. En el caso de países sin redes nacionales y cuando existe información disponible, se eligió mostrar un máximo de dos redes locales, teniendo en cuenta aquellas con mayor número de piezómetros y que provean datos públicos.

Tabla 2. Características de las redes de monitoreo

| País | Red de monitoreo | Nº de pozos | Registro manual o automático | Frecuencia* | Disponibilidad de datos | Referencias |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------|---|--|
| Argentina | BDH-CMR | 289 | Mixto | Mensual | Visualización y descarga | BDH-CMR (2018) |
| | BDH-Azul | 149 (monitoreo + otros) | Mixto | Irregular | Visualización y descarga | BDH-Azul (2018) |
| Bolivia | Del Acuífero Purapurani | 30 | Manual | Mensual | En preparación Sistema de Información de Agua Subterránea de Bolivia (SIASBO) | MMAyA ¹ (2018), MMAyA ² (2016) |

| | | | | | | |
|-------------|--|----------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------|---|
| Brasil | RIMAS | 394 | Mixto | Diaria | Visualización y descarga | CPRM (2018), Rangel-Medina (2018) |
| Chile | Red hidrométrica nacional | 1059 | (?) | Mensual | Visualización y descarga | DGA ¹ (2018), DGA ² (2018), DGA ³ (2018) |
| Colombia | RBASUB | 112 | (?) | Bianual | n.e. | IDEAM ² (2015) |
| Costa Rica | SIMASTIR (provincia de Guanacaste y Puntarenas peninsular) | 44 | Automático con transmisión telemétrica | Tiempo real | Visualización y descarga | MINAE ¹ (2017), |
| | Semiautomática | 21 | Automática con transmisión manual | | Visualización | MINAE ¹ (2017), MINAE ³ (2019) |
| | Manual | 300 | Manual | Mensual | Visualización | MINAE ³ (2019) |
| El Salvador | Automática | 24 | Automático | 8 horas | Visualización | MARN ¹ (2018), MARN ² (2019) |
| | Artesanal | 100 | Manual | Bianual | Visualización | MARN ¹ (2018), MARN ² (2019) |
| México | Red de monitoreo piezométrico | 2000 | (?) | Anual | Visualización y descarga | CONAGUA (2018), Rangel-Medina (2018) |
| Paraguay | Acuífero Patiño | 47 | Automática | (?) | n.e. | SEAM (2017) |
| Perú | Red nacional | 3491 en total, 150 automatizados | Mixto | (?) | n.e. | IGRAC ¹ (2014), ANA (2016), Rangel-Medina (2018) |
| Uruguay | Acuífero Raigón ^s | 40 | Manual | Bianual | Informes anuales en la web | DINAMIGE (2018) |
| Venezuela | Red nacional | 130 | Mixto | Mensual, trimestral y semestral | n.e. | Decarli (2011) |

(?): Desconocido n.e.: no encontrado *La frecuencia indicada corresponde a la menor frecuencia reportada (a través de descripciones oficiales de la red de monitoreo, o según las series de datos disponibles para el público).

3.1 Plataformas Online

Cinco países cuentan con un visor online que permite visualizar sus redes nacionales de monitoreo de aguas subterráneas: Brasil (CPRM, 2018), Chile (DGA1, 2018), Costa Rica (MINAE2, 2019), El Salvador (MARN2, 2019) y México (CONAGUA, 2019).

La información más básica entregada por las cinco plataformas es la ubicación de las estaciones de vigilancia. Todas ellas, a excepción de la de Costa Rica, permiten además acceder a los valores del nivel de agua por estación (mensual y/o anual). Los visualizadores de Brasil y El Salvador tienen la particularidad de incluir en la misma plataforma datos provenientes de sus respectivos programas de monitoreo de calidad del agua subterránea, facilitando al usuario tener una visión más holística del estado de este recurso.

La plataforma RIMAS de Brasil es la que posee el mayor número de funcionalidades y cantidad de información. En ella se puede hacer búsquedas simples y complejas y se puede acceder a información completa de cada uno de los puntos de la red, incluyendo parámetros generales (nombre, coordenadas, elevación, localidad), constructivos (profundidad de perforación, tipo de revestimiento), geológicos (descripción de las capas geológicas), monitoreo de niveles y de calidad (conductividad, temperatura, iones), test de bombeo e información multimedia (imágenes), a la vez de poder visualizar la ubicación de los puntos en el mapa (CPRM, 2018). No todas las estaciones poseen todos los datos anteriormente mencionados, aunque sí la gran mayoría, y la plataforma está diseñada para ser capaz de recibir y mostrar estos datos en el futuro.

La plataforma online GGMN (IGRAC2, 2019), administrada por IGRAC, posee actualmente información de Brasil, Chile, Colombia y Ecuador. Los pozos de Colombia y Ecuador fueron agregados a la red en el marco del Taller Regional en 2013 y corresponden a una selección de las estaciones de vigilancia existentes en estos países. En el caso de Brasil y Chile se incluyen estaciones de las respectivas redes nacionales, las cuales están actualizadas hasta el primer trimestre del 2018. La plataforma GGMN se compone de 3 portales: Global, Regional y de Análisis de series de datos. El portal global de GGMN permite visualizar la ubicación geográfica de todas las estaciones de monitoreo con datos públicos y ver de forma gráfica como cambian

los niveles de agua subterránea en el tiempo para cada estación. El portal regional permite comparar de forma espacial cualquier grupo de estaciones en base a diferentes parámetros estadísticos de las series de datos (promedio, máxima, mínima y otros). Por último, en el portal de Análisis de series de datos se puede hacer un análisis de los datos obtenidos en cada estación, para identificar tendencias, fluctuaciones periódicas y otros. El portal GGMN está disponible libremente para ser utilizado por instituciones que necesiten de una plataforma para gestionar, almacenar y procesar sus datos de monitoreo y también para aquellos países que deseen promover sus redes de vigilancia nacionales y sus avances en este tema. Así, el programa GGMN fomenta el monitoreo de las aguas subterráneas y contribuye a la visualización de este recurso a nivel mundial.

4. DISCUSIÓN

El monitoreo de agua subterránea es una de las herramientas más importantes para gestionar el recurso subterráneo hoy en día. Un factor crucial es que este se realice con una frecuencia establecida y una continuidad a lo largo del tiempo, ya que esto no solo permite observar el comportamiento del acuífero (ya sea por variaciones estacionales o influencia humana), pero también observar tendencias (por ejemplo, rápido agotamiento de un acuífero), lo cual, como fue expresado anteriormente, permite tomar las medidas de gestión necesarias respecto a estas variables. Es por ello que en este trabajo se busca conocer el estado de situación del monitoreo en los diferentes países de Latinoamérica: este entrega una pista acerca del estado de la gestión del recurso hídrico subterráneo en cada país.

Cabe destacar que no es una tarea sencilla hacer una revisión del estado de todas las redes de monitoreo del agua subterránea en Latinoamérica. La información de acceso público es muy dispar. Por ejemplo, cuando no se encuentra evidencia de una red a nivel nacional, se debe investigar la presencia de redes locales y muchas veces, al no existir inventarios oficiales, no se conoce con certeza si se han examinado todas las redes existentes en un mismo país.

En muchos casos, la creación y desarrollo de las redes no está documentada formalmente y la información actualizada se obtiene de particulares,

presentaciones y periódicos, incluso a veces encontrándose información contradictoria. Otra dificultad surge al encontrarse programas de monitoreo de la calidad del agua subterránea donde no resulta claro si se incluye en ese mismo programa el monitoreo cuantitativo del recurso.

Este trabajo busca recopilar todas las redes encontradas, que no significa que sean todas las existentes. Es necesario recalcar este último aspecto, y, sobre todo, la importancia de que los países difundan sus redes, de forma de conocer diferentes realidades y fortalecer las experiencias ya existentes fomentando el uso sustentable del recurso subterráneo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del relevamiento realizado en este trabajo podemos concluir que los países que cuentan con un programa de monitoreo nacional en general publican la ubicación de los pozos y los niveles de agua por estación, pero no distribuyen la información procesada, es decir, no entregan periódicamente mapas con el nivel de agua, por ejemplo, o resultados de los datos aplicados a modelos hidrogeológicos, o reportes con las últimas tendencias o proyecciones. Esto significa que solo especialistas pueden analizar los datos, quienes no son necesariamente los tomadores de decisiones, para quienes estos datos podrían ser difíciles de interpretar. En este sentido, aunque los datos recopilados sean públicos, su utilidad puede ser limitada.

REFERENCIAS

- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (2016). Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos. Avances, logros y oportunidades. XVII Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua CODIA. Campeche, México.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua, Redes de Monitoreo Piezométrico, (Consultado el: 27/06/2019). Disponible en: <https://sigagis.conagua.gob.mx/rp/>.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2018). RIMAS Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas, (Consultado el: 22/05/2018). Disponible en: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/apresentacao.php>
- BDH-Azul. Base de Datos Hidrológica para la localidad de Azul, (Consultado el: 28/06/2018). Disponible en: http://www.azul.bdh.org.ar/bdh3/index_contenido.php?xgap_historial=reset
- BDH-CMR. Base de Datos Hidrológica de la Cuenca Matanza-Riachuelo, (Consultado el: 28/06/2018). Disponible en: http://www.bdh.acumar.gov.ar/bdh3/index_contenido.php
- Decarli, F. (2011). Estado de las Aguas Subterráneas en Venezuela, (Consultado el: 22/05/2018). Disponible en: <http://avias-aguassubterranas.blogspot.com/2011/10/estado-de-las-aguas-subterranas-en.html>

- DGA1. Dirección General de Aguas, Red Hidrométrica Nacional, (Consultado el: 20/06/2018). Disponible en: <https://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0>
- DGA2. Dirección General de Aguas, Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea, (Consultado el: 20/06/2018). Disponible en: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- DGA3. Dirección General de Aguas. (2018). Información recibida por IGRAC a través de correo electrónico
- Diario El Litoral. (2010). En Santa Fe funciona una red de monitoreo de agua subterránea (Consultado el: 20/06/2018). Disponible en: <http://www.ellitoral.com/index.php/diarios/2010/09/12/metropolitanas/AREA-01.html>
- DINAMIGE. Dirección Nacional de Minería y Geología. (2018). Monitoreo Acuífero Raigón. Informe inédito. 11 pp.
- GWP. Global Water Partnership. (2017). La Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada. Informe inédito. 102 pp.
- IANAS & UNESCO. (2015). Desafíos del Agua Urbana en las Américas. Perspectivas de la Academia de Ciencias. Informe inédito. 638 pp.
- IDEAM1. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). Estudio Nacional del Agua. Informe inédito. 438 pp.
- IDEAM2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Subdirección de Hidrología. (2015). Red Básica Nacional de monitoreo de Aguas Subterráneas (RBASUB). Informe inédito. 9 pp.
- IGRAC1. International Groundwater Resources Assessment Centre. (2014). Groundwater Monitoring in Latin America. Informe inédito. 16 pp.
- IGRAC2. International Groundwater Resources Assessment Centre, Global Groundwater Monitoring Network, (Consultado el: 27/06/2019). Disponible en: <https://ggmn.un-igrac.org/>
- MARN1. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General del Observatorio Ambiental. (2018). Información recibida por CeReGAS a través de correo electrónico.
- MARN2. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. Aplicación del Sistema de Información Hídrica (SIHI), (Consultado el: 26/06/2019). Disponible en: <http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/app/1/pozosmonitoreo>.
- MINAE1. Ministerio de Ambiente y Energía – Dirección de Agua. (2017). Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real (SIMASTIR). Informe inédito. 15 pp.
- MINAE2. Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, Visor de Mapas del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH), (Consultado el: 27/06/2019). Disponible en: <http://mapas.da.go.cr/>
- MINAE3. Ministerio de Ambiente y Energía - Dirección de Agua. (2019). Información recibida por IGRAC y CeReGAS a través de correo electrónico.
- MMAyA1. Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Unidad de Gestión de la Cuenca Katari del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. (2018). Información recibida por CeReGAS a través de correo electrónico.
- MMAyA2. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2016). Plan de Manejo Preliminar de los Acuíferos de Purapurani y Viacha. Informe inédito. 184 pp.
- MVOTMA. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2017). Plan Nacional de Aguas, Montevideo, Uruguay. 320 pp.
- Rangel-Medina, M. (2018). O monitoramento das águas subterrâneas na América Latina. - II Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, Brasil.

- Red Mate. (2018). Red de Monitoreo de las Aguas y del Territorio, (Consultado el: 20/06/2018). Disponible en: <http://www.red-mate.com.ar/>.
- RSIIH. Red Solidaria de Intercambio de Información Hídrica (2018), (Consultado el: 20/06/2018). Disponible en: <http://rsiih.com.ar/>
- SEAM. Secretaría del Ambiente. (2017). Estudio de Recursos Hídricos y Vulnerabilidad Climática del Acuífero Patiño. Informe inédito. 343 pp.
- Secretaría del Agua. (2016). Gestión de Aguas Subterráneas en el Ecuador. Informe inédito. 17 pp.
- USGS. United States Geological Survey. (2016). U.S. Department of the Interior, (Consultado el: 22/05/2019). Disponible en: <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>.

Como citar este artículo:

Ruz-Vargas, C., Samaniego, L., Rangel, M. (2020). Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina e Introducción al programa GGMN. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 118-126. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license

SUSCRIPCIONES

Si desea recibir la revista Aqua-LAC en forma
periódica en formato digital envíe un correo electrónico a:

aqualac@unesco.org
aqualac@uaq.mx

SUSCRIPTIONS

*If you would like to periodically receive Aqua-LAC
journal in digital format send an email to:*

*aqualac@unesco.org
aqualac@uaq.mx*

<http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC>



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license



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

70
1949 - 2019

Oficina de Montevideo

Oficina Regional de Ciencias
para América Latina y el Caribe

UNESCO

Programa Hidrológico Intergubernamental
Oficina Regional de Ciencias
para América Latina y el Caribe

*Intergovernmental Hydrological Programme
Regional Office for Science
for Latin America and the Caribbean*

Revista científica del Programa Hidrológico Intergubernamental
en América Latina y el Caribe (PHI-LAC)
ISSN: 1688-2873

Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe
UNESCO. Edificio Mercosur. Luis P. Piera 1992, 2º piso
11200 Montevideo, Uruguay
aqualac@unesco.org

Centro de Investigaciones del Agua
Campus Universitario Cerro de las Campanas
Facultad de Ingeniería, UAQ
76010 Querétaro, México
aqualac@uaq.mx

<http://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC>

Aqua-LAC 
Revista del Programa Hidrológico Internacional
para América Latina y el Caribe