

“Agua para Galápagos”: un programa de monitoreo de la calidad del agua en las islas Galápagos

“Water for Galapagos”:
a water
quality monitoring program for
the Galapagos Islands

Wendy Vernaza – Rodrigo Pozo – María Cristina
Mateus – Diego Quiroga – Jill R Stewart – Amanda L.
Thompson – Nejem Raheem – Valeria Ochoa-Herrera

Recibido: 11 de octubre de 2020

Aceptado: 22 de enero de 2021

DOI: <https://doi.org/10.18272/esferas.v2i.2026>

Cómo citar:

Vernaza, W., Pozo, R., Mateus, M. C., Quiroga, D., Stewart, J. R., Thompson, A., Raheem, N., & Ochoa-Herrera, V. (2021). “Agua para Galápagos”: un programa de monitoreo de la calidad del agua en las islas Galápagos. *Esferas*, 2, 10-35.

<https://doi.org/10.18272/esferas.v2i.2026>



Wendy Vernaza

Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Ambiental. Av. Diego de Robles y Vía Interoceánica, 17-1200-841, Quito, Ecuador
wwernaza@usfq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0332-0539>

Rodrigo Pozo

Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Ambiental. Av. Diego de Robles y Vía Interoceánica, 17-1200-841, Quito, Ecuador
rpozor@usfq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6101-2628>

María Cristina Mateus

Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Ambiental. Av. Diego de Robles y Vía Interoceánica, 17-1200-841, Quito, Ecuador
Galapagos Science Center, San Cristóbal, Galápagos, Ecuador
mcmateus@usfq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0546-0914>

Diego Quiroga

Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales
Av. Diego de Robles y Vía Interoceánica, 17-1200-841, Quito, Ecuador
Galapagos Science Center, San Cristóbal, Galápagos, Ecuador
dquiroga@usfq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5370-5416>

Jill R. Stewart

Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, Departamento de Ciencias Ambientales e Ingeniería, Escuela de Salud Pública Global Gillings. 1301 Michael Hooker Research Center, Chapel Hill, Carolina del Norte, 27599, Estados Unidos
Galapagos Science Center, San Cristóbal, Galápagos, Ecuador
jill.stewart@unc.edu
<https://orcid.org/0000-0002-3474-5233>

Amanda L. Thompson

Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, Departamento de Nutrición, Escuela de Salud Pública Global Gillings, 245 Rosenau Hall, Chapel Hill, Carolina del Norte, 27599, Estados Unidos
Galapagos Science Center, San Cristóbal, Galápagos, Ecuador
althomps@email.unc.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5872-738X>

Nejem Raheem

Emerson College, Departamento de Comunicación en Marketing. 120 Boylston Street, Boston, MA, 02116, Estados Unidos
nejem_raheem@emerson.edu
<https://orcid.org/0000-0002-5976-8247>

Valeria Ochoa-Herrera

Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Ambiental. Av. Diego de Robles y Vía Interoceánica, 17-1200-841, Quito, Ecuador.
Galapagos Science Center, San Cristóbal, Galápagos, Ecuador
vochoa@usfq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3826-2079>

Resumen

Las islas Galápagos se caracterizan por contar con fuentes limitadas de agua; por lo tanto, la conservación y protección del agua dulce es uno de los retos más difíciles de afrontar. La disponibilidad, calidad y tratamiento de aguas en cada isla es diferente, y está relacionada con la demanda de la población. En este artículo, presentamos la situación actual y los proyectos que desarrollamos relacionados con el recurso hídrico en tres islas: Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. En Santa Cruz, en conjunto con el Parque Nacional Galápagos (PNG), se generó una línea base de calidad del agua mediante un set de datos levantados durante nueve años por el PNG; además, se desarrolló un estudio sobre la percepción de la población sobre la calidad del agua, su satisfacción en cuanto al recurso y la disposición local a pagar por mejoras a este servicio. En San Cristóbal, se desarrolla el Programa de Monitoreo a largo plazo de calidad del agua; mientras que en Isabela se efectuó un proyecto piloto de monitoreo de la calidad del agua. Por último, en las tres islas se realizaron talleres de trabajo con gente local, representantes de instituciones públicas y privadas, ONGs y estudiantes. Estos, además de dar a conocer los proyectos que se llevan a cabo en cada isla, permitieron identificar y priorizar las preocupaciones y dudas de cada comunidad acerca del manejo del agua y las estrategias de mitigación al cambio climático. En este documento se presentan los resultados principales de cada actividad desarrollada, el estado de la calidad del agua en las tres islas y opiniones de las partes involucradas sobre las mejoras aplicables en las islas para obtener un recurso de calidad. Este proyecto de vinculación contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas 3: Salud y Bienestar; 6: Agua Limpia y Saneamiento; 13: Acción por el Clima y 14: Vida Submarina. Finalmente, este programa contribuye de manera tangible a preservar y conservar el recurso hídrico en el archipiélago.

Palabras clave: agua dulce, Galápagos, calidad del agua, monitoreo, objetivos de desarrollo sostenible, comunidad

Abstract

The Galapagos Islands are distinguished by having limited sources of water; for this reason, the conservation and protection of fresh water is one of the most difficult challenges to face. The availability, quality and treatment of water on each island is different and is related to the demand of the population. In this article, we present the current water situation and the projects we develop related to water resources on three islands: Santa Cruz, San Cristóbal and Isabela. On Santa Cruz, in conjunction with the Galapagos National Park, a water quality baseline was generated using a nine-year data set collected by the Park. In addition, a study was carried out on the perception of the population on the quality of water, their satisfaction regarding the resource, and the local willingness to pay for improvements to the water service. On San Cristóbal, the long-term Monitoring Program on water quality is being developed, while on Isabela a pilot project for monitoring water quality was conducted. Finally, on the three islands, workshops were held with local people, representatives of public and private institutions, NGOs, and students where we identified and prioritized the communities' concerns and uncertainties about the management of the water resources in the archipelago. The article presents a summary of the main results of the activities conducted, the status of water quality on the three islands, and opinions of the parties involved on the applicable improvements on the islands to obtain a quality resource. This community outreach program contributes to the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 3: Good Health and Well-being; 6: Clean Water and Sanitation; 13: Climate Action; and 14: Life Below Water. Finally, this program contributes in a tangible way to preserve and conserve the water resource in the archipelago.

Keywords: fresh water, Galapagos, water quality, monitoring, sustainable development goals, community

Introducción

El desarrollo y el crecimiento poblacional en las islas Galápagos han generado que aumente la demanda de diferentes recursos, entre los cuales se destaca el agua dulce. De acuerdo con el último censo, en 2015, Galápagos contaba con 25,244 habitantes, lo cual representa un 9.5% más que la población de 2010. Adicionalmente, la isla más poblada es Santa Cruz; San Cristóbal es el segundo cantón con mayor número de habitantes, e Isabela se encuentra en tercer lugar [1]. Las islas Galápagos, debido a sus características hidrogeológicas, se distinguen porque cuentan con fuentes limitadas de agua dulce; por esta razón, conservar y proteger el agua dulce es uno de los retos más importantes en el archipiélago. La situación en cuanto a disponibilidad, accesibilidad, calidad y tratamiento de aguas en cada isla es diferente, y está relacionada con la demanda de la población y del turismo.

Santa Cruz

La isla Santa Cruz, con un área de 986 km² recibe un número de turistas en constante crecimiento. En 2018, el 76% de un total de aproximadamente 276,000 turistas se dirigió a esta isla [2]. Además, el número de inmigrantes provenientes sobre todo del Ecuador continental también ha aumentado de manera considerable en los últimos años, debido a las oportunidades de trabajo relacionadas con el sector turístico [3]. Según el censo poblacional de 2015, Santa Cruz cuenta aproximadamente con 15,701 habitantes, de los cuales la mayoría habita en el centro urbano de Puerto Ayora [4].

La disponibilidad del recurso hídrico en esta isla es una preocupación constante, debido a la acumulación de agua salobre en grietas de piedras volcánicas. Además, la calidad del agua se ha visto afectada por la proximidad del asentamiento urbano con el acuífero, la falta de un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales, la intrusión de agua de mar y la posible sobreexplotación del acuífero [5]. Adicionalmente, en Puerto Ayora las familias de la isla colectan los efluentes domésticos en fosas sépticas, sin ninguna depuración extra; el 90% de estas fosas no funcionan correctamente, lo cual permite que las aguas residuales se infiltren en el acuífero y lo conviertan en una fuente inadecuada de agua de consumo humano, debido a la presencia de coliformes fecales [6].

Por otro lado, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz (EPMAPASC) cobra una tarifa fija mensual de \$5.24 para el sector doméstico, y de \$11.24 para las viviendas con un área mayor a 100 m²

y para el sector comercial [7]. Sin embargo, el servicio presenta interrupciones con frecuencia, y el recurso está disponible solamente tres horas al día, en promedio. Además, el agua que se distribuye en Puerto Ayora no ha sido potabilizada y esto ha forzado a los residentes de esta isla a adquirir agua embotellada para su consumo [8]. Adicionalmente, la falta de medidores de consumo de agua ha significado que en ciertos casos los habitantes la utilicen para regar sus cultivos [8].

En 2019, en conjunto con el Parque Nacional Galápagos (PNG), evaluamos la calidad del agua costera y subterránea de la cuenca de Pelican Bay, en Santa Cruz. Este análisis se llevó a cabo gracias a los datos recopilados durante nueve años (2007-2015) por el programa de monitoreo de la calidad del agua del PNG. Analizamos varios parámetros físico-químicos y microbiológicos, con el objetivo de entender el estado de la calidad del agua en la isla junto con las variaciones estacionales y espaciales [5]. Además, en enero de 2020 desarrollamos un proyecto de investigación sobre la disposición a pagar sobre servicios de agua mejorados. Este consistió en encuestar a moradores de la isla, para recopilar información acerca de las condiciones actuales del servicio de agua, las prácticas de agua en sus hogares, la satisfacción de los consumidores, la preferencia de estos frente a los servicios de agua y las características sociodemográficas de los encuestados, para presentar y proponer nuevas políticas donde las tarifas se basen en el consumo [3].

San Cristóbal

San Cristóbal tiene un total de 7,199 habitantes y un crecimiento poblacional anual de 0.8% [4]. Esta isla se diferencia de las demás porque cuenta con presencia permanente de fuentes de agua dulce [9]. La laguna de El Junco se encuentra a 19 kilómetros de Puerto Baquerizo Moreno, dentro de un pequeño cráter. Esta zona pertenece al PNG y sirve como refugio para muchas especies de aves. Es considerada la única laguna de agua dulce de las Islas Encantadas, y representa el mayor reservorio de este tipo de agua en Galápagos y es, seguramente, el más antiguo en las islas; sin embargo, esta no es una fuente de agua de consumo humano de la población [10]. De hecho, la isla cuenta con dos fuentes de agua dulce que utiliza la población para uso doméstico: el Cerro Gato y La Toma, las cuales se encuentran en la parte alta, a una altitud de 164 y 150 metros, respectivamente, y se abastecen de agua lluvia. El Cerro Gato es la fuente de la planta de tratamiento de agua potable Las Palmeras, y La Toma, de

El Progreso. Ambas plantas cuentan con procesos convencionales de tratamiento, tales como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección [11]. San Cristóbal también tiene una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), cuyas actividades iniciaron en 2011, y trata el 70% de aguas residuales domésticas [12].

De acuerdo con una encuesta sobre el uso del agua en los hogares de San Cristóbal, realizada en 2019, todos los hogares del estudio reportaron que reciben agua municipal mediante tubería o camión cisterna; el agua generalmente está almacenada en cisternas de hormigón y tanques sobre el suelo o elevados, y se distribuye a los hogares mediante grifos. La mayoría de miembros de la familia utilizan esta agua municipal para actividades de limpieza como lavar los platos, y algunas familias usan agua de la lluvia cuando pueden recolectarla. Sin embargo, 11% de los hogares utiliza agua embotellada o filtrada para cocinar y 15% de las familias utilizan agua de la llave tratada (ya sea hervida, filtrada o desinfectada) para lavar sus alimentos [13].

En 2015 se estableció el Programa de Monitoreo a largo plazo de la calidad del agua en la isla San Cristóbal, dirigido por académicos del Galápagos Science Center (GSC), la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), la Universidad de Carolina del Norte (UNC) en Chapel Hill-EE. UU. en colaboración con el PNG y la Municipalidad de Puerto Baquerizo Moreno. La capacidad técnica local de análisis de agua fue desarrollada mediante un laboratorio de calidad del agua en el GSC [14,15]. Este Programa Participativo se inició como un proyecto piloto de cinco meses en 2014, y en la actualidad constituye el estudio longitudinal más extenso de la calidad del agua y de ingeniería en las islas Galápagos, cuyo objetivo es entender los cambios en la calidad del agua desde la fuente hasta el tratamiento y la distribución del recurso [11].

Isabela

Isabela es la isla más grande en el archipiélago de Galápagos en cuanto a territorio se refiere; sin embargo, es aquella con el menor número de habitantes después de Floreana [16]. Esta isla alberga a alrededor de 2,344 personas en al menos 580 viviendas, y en los últimos años ha presentado el 1.6% de crecimiento poblacional anual [4]. Se estima que anualmente 106,000 visitantes llegan a la isla. El turismo ha tenido un impacto significativo, con un crecimiento del 336% en alojamientos y negocios relacionados con esta actividad entre 2007 y 2015 [17].

En 2014 se instaló una planta desalinizadora, que maneja el Municipio de Puerto Villamil y funciona mediante el principio de osmosis inversa con dos membranas, pero solamente una de ellas funciona en la actualidad [18]. En un contexto local, aproximadamente el 82% de los hogares tienen acceso a agua municipal entubada. La población típicamente consume agua embotellada y en la parte alta se recolecta además agua lluvia. En 2015 se completó la PTAR, que funciona con pantanos artificiales y plantas acuáticas de la zona [18] que absorben, oxidan y mineralizan los contaminantes del agua, reduciendo así su carga orgánica [19].

El Proyecto piloto de monitoreo de la calidad del agua en Isabela se efectuó entre junio y julio de 2019 en Puerto Villamil. El objetivo fue determinar la calidad del agua potable mediante análisis físico-químicos y microbiológicos de muestras de agua de la llave de 35 hogares distribuidos en diferentes vecindarios. Adicionalmente, se llevaron a cabo encuestas sobre la inseguridad de las personas acerca del agua que reciben a través del sistema de distribución. Este proyecto se realizó en colaboración con UNC en Chapel Hill-EE. UU., la USFQ y el Gobierno Municipal de Isabela [20].

Con el fin de involucrar a gente local de las islas, instituciones, estudiantes e industrias locales, se han organizado talleres de trabajo, conocidos como *workshops*, tanto en San Cristóbal como en Isabela y en Santa Cruz. Estos, además de dar a conocer los proyectos de investigación y vinculación que se llevan a cabo, permitieron identificar y priorizar las diferentes preocupaciones y dudas de cada comunidad acerca del manejo del recurso hídrico [18].

El programa “Agua para Galápagos” ha aportado a los siguientes objetivos de la agenda de desarrollo sostenible adoptada por líderes mundiales en 2015: el objetivo 3, que busca asegurar una vida saludable y favorecer el bienestar universal, poniendo fin a ciertas enfermedades como aquellas transmitidas por el agua; el objetivo 6, que se basa en un recurso hídrico libre de impurezas y fácil de acceder para todos, y el objetivo 14, que tiene como meta reducir y prevenir de forma significativa la contaminación marina producida por las actividades humanas [21]. Finalmente, los tomadores de decisiones pueden emplear la información generada en este proyecto para mejorar las prácticas de gestión de los recursos hídricos, con el fin de proteger el bienestar de la población y el ambiente único de las islas Galápagos.

Metodología

Evaluación de la calidad del agua y disposición a pagar por servicios de agua mejorados en Santa Cruz

El PNG, en el periodo comprendido entre 2007 y 2015, colectó y analizó muestras de agua en siete puntos de Santa Cruz, clasificados en dos grupos: sitios costeros y zonas interiores (agua subterránea en el acuífero). Todos los puntos se ubicaron dentro de Pelican Bay, donde existe un problema con la cantidad de agua, debido a la alta demanda de riego y ganadería, y también porque abastece las dos principales localidades de Santa Cruz (Puerto Ayora y Bellavista). Adicionalmente, la calidad del agua en los sitios analizados está sujeta a perturbaciones por las actividades antropogénicas cercanas. Los parámetros de calidad de agua analizados por el PNG *in situ* fueron conductividad, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, pH, turbidez; coliformes fecales y coliformes totales se midieron en laboratorio, y nitrato, nitrito y fósforo total se analizaron en el laboratorio. Este set de datos de nueve años fue evaluado en conjunto con el PNG mediante un análisis estadístico para calcular los niveles ambientales de fondo de las variables de calidad del agua, además de las variaciones estacionales y espaciales [5].

Por otro lado, para el proyecto de encuestas comunitarias, se dividió a Puerto Ayora en cinco zonas, con el objetivo de seleccionar una muestra representativa de hogares; para ello se consideraron los siguientes parámetros: un desarrollo urbano reciente, las zonas residenciales y comerciales, y la afluencia económica en diferentes barrios. Las encuestas se aplicaron en enero de 2020 y se entrevistó a tres hogares en cada una de las cinco zonas evaluadas; si la persona de cualquier hogar no podía responder ese instante la encuesta, el entrevistador coordinaba un horario específico para regresar. La encuesta tenía una pregunta de referencia, donde el encuestado podía votar a favor o en contra de un proyecto que mejorara los servicios del agua a cambio de un aumento en su factura del agua. Este incremento podía variar aleatoriamente entre \$5 y \$25.

Además, con el objetivo de explorar la complementariedad entre las preferencias por la confiabilidad del servicio y la calidad del agua, la encuesta también incluía un tratamiento de muestra dividido en tres escenarios en la mejora del servicio: a) suministro continuo de agua potable segura en el grifo; b) mejora de la confiabilidad del sistema para proporcionar agua sin interrupciones mientras se mantiene la calidad actual del recurso, y c) mejora en la calidad del agua para que sea segura para beber mientras se mantienen las horas de servicio actuales [3].

Proyecto de Monitoreo de calidad de Agua en San Cristóbal y Proyecto Piloto en Isabela

Recolección de muestras

Un responsable del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la USFQ (LIA-USFQ) viaja cada tres meses a San Cristóbal para recolectar las muestras en las fuentes de agua dulce (2 muestras), ingreso (2) y salida (2) de las plantas potabilizadoras El Progreso y Las Palmeras, muestras al inicio, mitad y final del sistema de distribución (total 6), playa Punta Carola (3), playa La Lobería (2), y al ingreso (1) y salida (1) de la PTAR [11].

En la isla Isabela, se colectaron 2 muestras de agua de cada hogar visitado; una proveniente del agua de la llave, y la otra de la fuente principal de agua para consumo humano. Además, se colectaron 5 muestras de agua de la planta desalinizadora, divididas de la siguiente manera: agua superficial (2), ingreso (1) y salida (2), y se enviaron estas muestras al Laboratorio de Calidad de Agua en el GSC en San Cristóbal para el análisis [20].

Análisis de muestras

Los parámetros pH, temperatura, conductividad, potencial redox y salinidad se midieron *in situ* en cada punto de muestreo mediante un multiparámetro portátil YSI ProDSS en San Cristóbal e Isabela [11,18]. La turbidez también se midió *in situ* con el turbidímetro Thermo Scientific ORION AQ4500. Cada parámetro se registró por triplicado en cada punto de muestreo. Además, se tomaron las coordenadas de cada punto de muestreo en las dos islas [22].

En el caso de las muestras de San Cristóbal, se midieron otros parámetros químicos como el amonio (NH_4^+) (SM 4500-NH3) y el cloruro (Cl^-) (SM 4500-Cl-D), mediante un multiparámetro portátil Thermo Scientific Orion 5-Star y sus sondas correspondientes, como se especifica en los Métodos Estándar (SM) para el Análisis de Agua y Agua Residual por la Asociación Americana de Salud Pública [23]. Para cada parámetro se construyó una curva de calibración entre el potencial (mV) y la concentración [11]. De igual manera, los sulfatos (SO_4^{2-}) (SM 426 C), sólidos totales (TS) (SM 2540 B) y sólidos suspendidos totales (TSS) (SM2540 D) se determinaron empleando filtros de microfibras de vidrio marca Whatman (Grade 934-AH) secados a 40°C en el horno [11]. La demanda química de oxígeno (DQO) (SM 5220 B), el sulfuro (S^{2-}) (SM 5400 S2-D) y los fosfatos (PO_4^{3-}) (SM 5210 B) se midieron por el método colorimétrico, con un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se midió en un periodo de

cinco días con el sistema OxyTop. El cloro residual fue medido con el método colorimétrico visocolor ECO Chlor 2, test 5-15/5-16 (REF 931, 215/931, 216) con un fotómetro compacto [11].

Las concentraciones de coliformes totales y *E. coli* se enumeraron usando el kit IDEXX Colilert-18, como está descrito por Grube et al [11]. Las concentraciones microbianas se calcularon mediante el *software* IDEXX MPN Generator, y se reportan en número más probable (MPN) en 100 mL. En las muestras de agua de mar de San Cristóbal se cuantificaron *Enterococcus* mediante el kit IDEXX Enterolert, y con el mismo *software* mencionado se calculó el MPN/100 mL. Todos los recuentos microbianos se transformaron en \log_{10} para el análisis [11]. Las muestras de agua de Isabela se enviaron por avión a San Cristóbal, y se analizaron los coliformes totales y *E. coli* en el Laboratorio de Microbiología del GSC dentro de 12 horas de haber tomado la muestra [18].

El análisis de metales en las muestras de agua de San Cristóbal e Isabela se llevó a cabo en muestras filtradas y acidificadas mediante el equipo ThermoScientific iCAP 7400 ICP-OES en el LIA-USFQ, en Quito, Ecuador. Las curvas de calibración se crearon a partir de una solución estándar de múltiples elementos para ICP, grado Trace CERT en una concentración de 100 mg/L. Los límites de detección y cuantificación se calcularon mediante el análisis de muestras en blanco con al menos ocho repeticiones, y multiplicando la desviación estándar por tres para obtener el límite de detección (LD) y por diez para obtener el límite de cuantificación (LQ), respectivamente. El control de calidad para el análisis, tanto de elementos traza como de elementos mayores, se efectuó cada 10 muestras, utilizando el material de referencia certificado (CRM 1640a) [24].

En las encuestas realizadas en Isabela, participó cada miembro (mayor a 16 años) de la familia y se incluyeron preguntas sobre el acceso, seguridad, prácticas y percepciones relacionadas con el agua doméstica. Además, la encuesta incluía preguntas sobre la ingesta diaria y la seguridad alimenticia. Un total de 65 personas adultas respondieron a la encuesta, y estaban distribuidos en 34 de los 35 hogares participantes de esta investigación [20].

Talleres en San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela

En cada isla mencionada se efectuó un taller, con el fin de evaluar las perspectivas de las partes involucradas en la gestión del recurso hídrico en las islas Galápagos, y

las estrategias de adaptación y mitigación de cambio climático (Figura 1) [18]. Así, en San Cristóbal se llevó a cabo el taller el 21 de mayo de 2018; en Santa Cruz, el 23 de mayo de 2018, y en Isabela, el 13 de junio de 2018. El número de participantes en cada taller varió para cada isla. En Santa Cruz se registró la mayor participación, con 20 representantes de distintas organizaciones; seguida por Isabela, con 15 participantes, y 12 participantes en San Cristóbal. Los talleres se dividieron en tres actividades. La primera consistía en formar tres mesas de trabajo conformadas por un miembro de cada una de las partes, en donde se discutía sobre tres temas principales: calidad del agua; cantidad del agua, y estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático. Una vez que los participantes rotaron por las tres mesas, se intercambiaron todas las ideas claves para continuar con la siguiente actividad [18].

En una segunda actividad se identificaron los flujos de recursos financieros y técnicos mediante el mismo método de rotación de la primera actividad. En esta sesión se solicitó a los miembros de cada mesa de trabajo que reconocieran los proyectos existentes relacionados con las ideas claves recolectadas en la primera actividad e identificaran las organizaciones que participan o podrían participar. Por último, en la tercera actividad se priorizaron los problemas y se identificaron las oportunidades más importantes discutidas en la primera actividad, junto con los recursos disponibles para abordar los desafíos identificados en la segunda actividad, y, después, se les solicitó que determinaran dos o tres prioridades para la isla. Luego de compartir todos los resultados y escuchar las estrategias planteadas, cada organización votó por la iniciativa más relevante para la isla y el recurso hídrico, y el cambio climático [18].



FIGURA 1. Participantes y organizaciones que participaron en los talleres de trabajo en Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. Tomado de Mateus et al [18].

Resultados y discusión

Evaluación de la calidad del agua en Santa Cruz

Los parámetros analizados en los sitios costeros y las localizaciones interiores en Pelican Bay fueron comparados con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la legislación ecuatoriana para calidad de agua. Una de las localizaciones interiores (pozo Misión San Francisco) registró un nivel alarmante de coliformes totales, por lo que fue cerrado y el agua no se recomienda para consumo humano ni para uso doméstico. Debido a que los niveles de turbidez y salinidad en los sitios interiores excedieron los valores recomendados por la OMS, tampoco se recomienda utilizar el agua de estos pozos para beber ni para uso doméstico. Algunos valores de conductividad y salinidad en las localizaciones interiores excedieron los límites de agua para irrigación, por lo que tampoco se recomienda para ese uso. Los niveles de nitrito y nitrato cumplieron con guías nacionales e internacionales para calidad de agua. Los parámetros analizados en los sitios costeros se evaluaron según las regulaciones en Hawái, EE. UU., y la legislación ecuatoriana. Uno de los puntos excedió ambas referencias en los valores de conductividad, oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total [5].

Los resultados de este análisis indican que las localizaciones interiores de Pelican Bay no son aptas para consumo humano ni para uso doméstico. Los niveles de salinidad y conductividad en estos puntos sugieren un posible ingreso de agua de mar en el acuífero basal de la isla, y esto podría relacionarse con el excesivo bombeo humano en el acuífero. Además, según los resultados, es posible que la variabilidad de algunos parámetros medidos se deba a la estacionalidad de las islas. Los resultados indican que, en época de garúa, parámetros como conductividad y salinidad presentan concentraciones más altas que las consideradas normales durante esa época. Por otro lado, los niveles elevados de coliformes fecales en uno de los sitios del interior podrían estar relacionados con la cercanía de este punto con áreas urbanas, donde tampoco existe una infraestructura eficiente de pozos sépticos, lo cual genera fugas hacia el acuífero basal [5].

Disposición para pagar por servicios de agua mejorados en Santa Cruz

De las 453 encuestas completas levantadas en las cinco zonas en Santa Cruz, se puede destacar que el hogar promedio de la isla es de cuatro personas y cuenta con un ingreso mensual de \$1,720. Asimismo, el hogar promedio tiene agua del grifo casi

todos los días de la semana, pero solamente por un tiempo menor a tres horas al día y, por tanto, bajo esas condiciones, no es sorprendente que la mayoría de las personas almacenen agua en sus hogares mediante cisternas o tanques en el techo. Los hogares que usan estos sistemas de almacenamiento invirtieron en promedio \$3,627 en cisternas y \$603 en taques elevados. Ninguno de los hogares entrevistados reportó el consumo de agua de la llave sin haberla tratado en casa, y solo el 13% de los hogares tratan el agua de la llave para beber. Por otro lado, 90.1% de los hogares consumen agua embotellada, y el hogar promedio consume más de 4 garrafas de 20 litros de agua en una semana y gastan más de \$8 semanales en total [3].

En cuanto a la satisfacción de los encuestados, aproximadamente el 94% estaba insatisfecho o muy insatisfecho con la calidad del agua de la llave. Más del 91% mostró cierta insatisfacción con el sabor del agua de la llave, y la mayoría de hogares no estaban satisfechos con el color ni el olor del agua de la llave. El 89% de los encuestados cree que mejorar la calidad del agua debería ser la prioridad de la empresa pública, lo cual denota la preocupación del público por la calidad del agua del grifo en Puerto Ayora [3].

Cuando se le preguntó a los encuestados si estarían o no dispuestos a pagar por mejoras en el servicio, se obtuvieron menor número de respuestas positivas en la opción donde solamente se brindaría un suministro continuo de agua, pero no mejoraría la calidad de esta y, de igual forma, muy pocos apoyaron el escenario donde solo se mejora la calidad del agua. El escenario con mayor acogida fue aquel en donde se mejora tanto la confiabilidad como la calidad del agua. Los hogares están dispuestos a pagar por tener agua potable incluso si los servicios de agua continúan interrumpiéndose [3].

Estos resultados demuestran que los hogares están de acuerdo con pagar un monto adicional solamente si se les garantiza agua de calidad. El promedio de hogares pagaría casi \$26 por adquirir agua segura que no necesariamente se distribuya las 24 horas del día. Cuando se garantizan ambos aspectos, es decir agua de calidad y servicio continuo, la disposición de los hogares por pagar aumenta y llegaría a \$87 por mes [3].

Los resultados obtenidos también se podrían utilizar para calcular estimaciones monetarias de beneficios o ingresos que se derivarían de las mejoras del servicio. Esos ingresos se pueden comparar con los costos de un sistema confiable que podría proporcionar agua potable de calidad a la población de Puerto Ayora [3]. Sin embargo,

cabe indicar que, a pesar de que la población manifieste que está dispuesta a pagar por servicios de agua mejorados, la realidad es diferente, la cartera vencida en Santa Cruz es importante, y se debe tener en cuenta la capacidad de pago de la población.

Proyecto de monitoreo de calidad de agua en San Cristóbal

En esta investigación, se toman muestras trimestrales de las fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento de agua potable, PTAR y de dos playas en la isla. Se analizan las muestras de acuerdo con 14 parámetros físico-químicos y 3 microbiológicos, en laboratorios del GSC [11]. Los parámetros físico-químicos de las fuentes de agua monitoreadas están dentro de los límites establecidos por la legislación ecuatoriana [25]. En cuanto a los parámetros microbianos, *E. coli*, está presente en ambas fuentes de agua dulce en niveles de alto riesgo según la OMS (Figura 2) [11].

Las concentraciones tanto de *E. coli* como de coliformes totales son reducidas significativamente en las plantas potabilizadoras, en la mayoría de los casos. Por ejemplo, durante el periodo 2015-2017, se encontró que, en la planta potabilizadora de El Progreso, el 100% de las muestras tomadas resultaron negativas para *E. coli*; mientras que en la planta de Las Palmeras el 94% de las muestras no presentaron contaminación fecal (Figura 2B) [11]. Es importante mencionar que tanto la legislación ecuatoriana como los lineamientos de la OMS establecen que se debe registrar ausencia completa de coliformes (totales y fecales) en el agua potable. Si bien las bacterias *E. coli* observadas en las plantas potabilizadoras de San Cristóbal son de origen ambiental, su detección en el agua tratada también podría indicar un tratamiento y desinfección inadecuados en algunas ocasiones.

Adicionalmente, durante estos años se han monitoreado una variedad de puntos en el sistema de distribución de agua potable, incluyendo casas, hoteles, baños públicos, plantas embotelladoras, entre otros, y se ha identificado que el almacenamiento de agua potable en tanques o cisternas ha generado que se vuelva a contaminar principalmente con coliformes totales, aunque en algunos casos inclusive con coliformes fecales, lo que demuestra rebrotes en el sistema de distribución (Figura 2) [11]. Estos rebrotes podrían atribuirse a una mala limpieza o mantenimiento de los sistemas. Adicionalmente, debido a que los hogares reciben agua solamente por 3 horas diarias, deciden no utilizarla en su totalidad y almacenar el agua del día siguiente, lo cual ocasiona que se acumule agua día tras día; esto deja los tanques llenos por largo tiempo, donde la concentración de cloro residual del agua almacenada es inadecuada y diluye el cloro residual del agua tratada entrante [11].

La PTAR de San Cristóbal ha operado de forma intermitente en los últimos años. Durante el periodo 2015-2017, la remoción de DQO y DOB₅ fue del 64% y 68%, respectivamente, pero no mostró una reducción de contaminación fecal en la descarga al mar. Esto es consistente con los elevados niveles de *Enterococcus* en Punta Carola, en el lugar de descarga. Estos valores superan los límites propuestos por la OMS en el 89% de las muestras en el lugar de descarga, en comparación con otros sitios que superaron la guía, como Punta Carola lado derecho (13%) y lado izquierdo (11%), y La Lobería lado derecho (LR) (9%) y lado izquierdo (LL) (15%) [11].

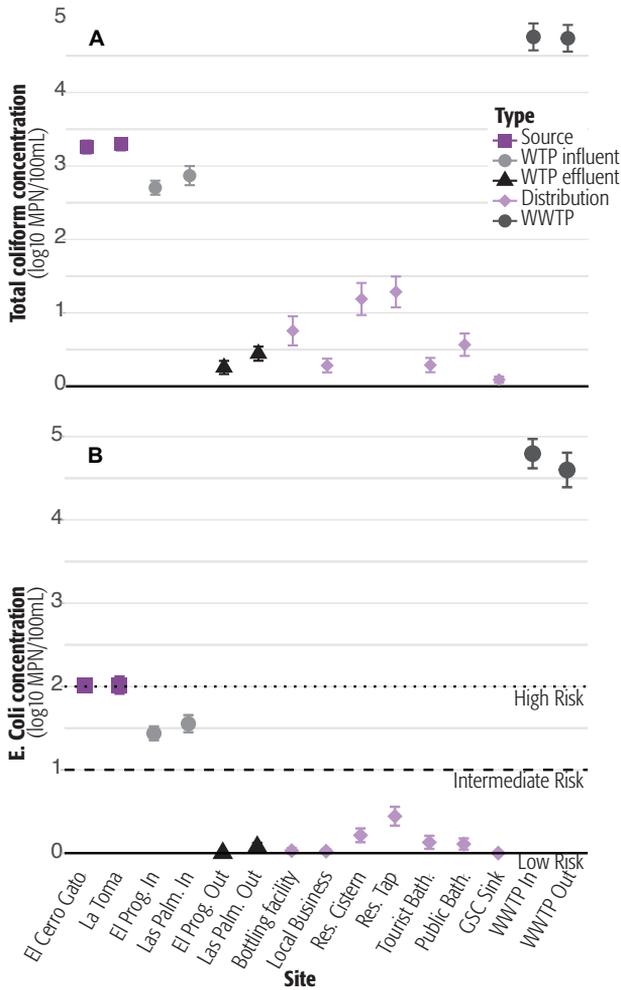


FIGURA 2. Concentración microbiana promedio en fuentes de agua dulce en San Cristóbal, Galápagos. Tomado de Grube, Stewart & Ochoa-Herrera [11].

Estos resultados demuestran que los sistemas de tratamiento de agua potable y de agua residual tienen ciertas falencias que deben ser consideradas para mejorar la situación del agua en la isla. En general, las plantas potabilizadoras proporcionan agua potable de alta calidad, pero presentan algunas inconsistencias que pueden relacionarse con que el cloro residual por sí solo no es indicativo de una desinfección eficaz. Dado que múltiples factores influyen en la eficiencia de eliminación de bacterias durante el tratamiento del agua potable, la mayor conductividad, oxígeno disuelto, pH y temperatura registrados en Las Palmeras, en comparación con El Progreso, indican que pueden requerir cambios operativos en la planta para optimizar la eficacia del tratamiento [11].

Con base en estos resultados, se sugiere que se considere implementar cisternas a nivel de vecindario, las cuales proporcionarían agua a presión de manera más consistente a los hogares. Además, debido a que cuentan con un gobierno municipal organizado y fuerte, podrían transferir la responsabilidad de la limpieza de la cisterna y la dosificación de cloro a un trabajador municipal capacitado, trabajadores de salud comunitarios, los comités de agua o personas voluntarias. Mientras se construyen estos sistemas, las campañas de educación pública sobre el mantenimiento adecuado de las cisternas y la cobertura con tapas son recomendables y podrían ayudar a proteger la salud pública en áreas con suministro de agua limitado [11].

Proyecto piloto de monitoreo en la isla Isabela

De las muestras de agua de los 35 hogares evaluados, se detectaron coliformes totales y *E. coli* con concentraciones por encima del límite inferior de detección en el 93% y 33% de las muestras, respectivamente [20]. Además, 54% de los hogares analizados presentaron concentraciones detectables de *E. coli* en el agua de consumo o en el agua de la llave, lo que genera un riesgo de salud de bajo a moderado, según niveles reportados por la OMS y el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) [26]. Las concentraciones de *E. coli* en el agua del grifo proporcionada por el Municipio fueron muy similares a las del agua de consumo, mientras que las concentraciones de coliformes totales fueron drásticamente más altas en general y más altas en el agua del grifo que en el agua de consumo. En total, 54% y 100% de los hogares tuvieron concentraciones detectables de *E. coli* y coliformes totales en sus fuentes de agua potable o del grifo, lo que muestra una alta prevalencia de contaminación del agua de la comunidad [20]. Con respecto a las muestras de agua de la

planta de tratamiento, todas, excepto una de las muestras provenientes del agua superficial, tuvieron concentraciones de *E. Coli* por debajo del límite inferior de detección [20].

La conductividad y la salinidad fueron de particular importancia debido a la preocupación de la comunidad por la falta de tratamiento del agua y su elevada salinidad. La conductividad del agua del grifo fue relativamente alta, pero estaba dentro de los estándares del agua potable establecidos por el INEN y la OMS. Aunque la salinidad del agua del grifo fue mucho más baja que los niveles del agua de mar, las pautas del INEN establecen que los altos niveles de sales, mal sabor u olor y otros problemas similares no deberían estar presentes en el agua de consumo humano. Las similitudes de los valores de conductividad, salinidad y pH, entre el agua de la planta de tratamiento y las muestras de agua de los grifos domésticos, indican un tratamiento mínimo efectivo. De hecho, no se evidenciaron diferencias sustanciales entre las muestras de entrada y salida de la planta desalinizadora, mientras que la elevada contaminación fecal y las mediciones físico-químicas se mantuvieron en todo el sistema de suministro, en el almacenamiento en tanques elevados y cisternas, y en agua de grifo en los hogares. Por estas razones, se recomienda optimizar el tratamiento de agua e ingeniería para brindar agua potable de alta calidad en la isla Isabela [20].

En cuanto a las encuestas realizadas, los residentes expresaron muchas preocupaciones sobre el agua de la llave; manifestaron que no era potable, no estaba tratada, era demasiado salada, estaba sucia o pone en riesgo su salud. Además, todos los residentes utilizan otras fuentes de agua potable, generalmente agua embotellada de empresas privadas y/o recolección de agua de lluvia. Sin embargo, la mayoría de los residentes dijeron que preferirían recibir agua potable entubada y que piensan que es responsabilidad del Municipio suministrarla a los hogares. Adicionalmente, el 28% de los residentes respondieron que tenían problemas con el agua y el 75% no estaban satisfechos con el servicio. La mayoría de los residentes cuentan con suficiente agua para realizar tareas diarias como lavar la ropa o bañarse, pero a un tercio de los hogares les preocupa tener suficiente agua para “necesidades” como beber y cocinar [20].

Talleres

Santa Cruz

Aproximadamente \$71 millones se han asignado a proyectos relacionados con cambio climático y necesidades del recurso hídrico, entre los cuales se destacan los siguientes. 1) Infraestructura: implementación de sistemas de almacenamiento de agua superficial para el sector agrícola, construcción de un reservorio y un sistema integral de alcantarillado y agua potable para barrios como Bellavista, Puerta Ayora y El Mirador [27]. 2) Política pública: los fondos invertidos abordan el desarrollo de estrategias efectivas para el uso sostenible del recurso en actividades relacionadas con la agricultura [28], y una solución sostenible para reducir el impacto en el suministro de agua causado por una demanda creciente con la instalación de medidores de agua [29].

Además, en la isla se requiere desarrollar más proyectos de investigación para entender las consecuencias del cambio climático, con el objetivo de desarrollar estrategias de adaptación y mitigación, y aportar con datos técnicos a la toma de decisiones. También es necesario mejorar la recopilación de datos actuales y futuros sobre el suministro y la demanda de agua [30], así como una mejor planificación y desarrollo de la infraestructura del agua en las islas pobladas de Galápagos [27]. La comunidad científica identificó la contaminación del agua subterránea cerca de las zonas pobladas de la isla, su principal fuente de agua, como una preocupación importante. Los participantes recomendaron que se requieren acciones políticas hacia un mejor sistema de gestión del agua y una mejor infraestructura, y reconocieron la importancia de la investigación para monitorear la calidad del agua e identificar las fuentes principales de contaminación. La mayoría de los proyectos relacionados con la gestión e infraestructura solo abordan una parte de los problemas de calidad del agua o no se han realizado hasta su culminación y, por tanto, no han generado beneficios [18].

San Cristóbal

Aproximadamente \$14.9 millones se han asignado para San Cristóbal e Isabela para proyectos de infraestructura como construir y mantener las instalaciones sustentables para mitigar los impactos causados por el fenómeno de El Niño y los eventos fuertes de precipitación, y para proyectos comunitarios como

la planificación y ordenamiento territorial para un desarrollo sostenible social y productivo. Además, en San Cristóbal se han implementado estrategias para enfrentar la alerta emitida por eventos de El Niño [27]. Las principales preocupaciones manifestadas en los talleres fueron llevar a cabo más proyectos de investigación sobre el manejo del agua potable y las aguas residuales de la isla. Los habitantes de la isla se han visto obligados a adquirir tanques de reserva de agua y cisternas porque el recurso se encuentra disponible solamente durante pocas horas; sin embargo, esos tanques no reciben limpieza o mantenimiento alguno, lo cual afecta a la calidad del agua de consumo [31]. En el taller de trabajo también se planteó la necesidad de capacitar y financiar al sector agrícola para implementar mejor tecnología y hacer frente al cambio climático, y, además, se propuso un programa para el manejo integral de cuencas hídricas en el cual se debería analizar, monitorear y desarrollar nueva infraestructura [27].

Isabela

En el taller de trabajo se identificó la necesidad de priorizar áreas de investigación que ayuden a generar información técnica y confiable para tomar decisiones, y afrontar el cambio climático y la dotación del recurso hídrico [27]. Adicionalmente, se propuso generar un marco integrado por actores locales, nacionales e internacionales para apuntar a un archipiélago más sostenible [27, 32]. Isabela está creciendo rápidamente sin contar con una red de alcantarillado efectiva ni un suministro de agua potable confiable [33]; adicionalmente, cuenta con fuentes de agua salobre, por lo que los isleños dependen de la recolección de agua de lluvia, agua embotellada o de agua adquirida en otras islas. Además, por falta de mantenimiento de las tuberías, es probable que el agua potable que pasa a través de la red presente contaminación con agua de mar por presencia de agujeros y fugas en el sistema de tuberías.

Otro reto es que el agua tratada que suministra el Municipio se distribuye únicamente un par de horas en la mañana y no satisface la demanda, por lo que en la actualidad se suministra agua no tratada el resto de horas del día [18]. Desafortunadamente, no está disponible la información sobre asignación de fondos, desarrollo y estado de estos. Por consiguiente, los planes y proyectos presentados en el taller se tomaron de aquellos que deberían estar en desarrollo, pero de los que no se tiene más información [34]; por eso, se asumió que aún no se han aplicado estos planes y se debe considerar nuevamente ejecutarlos [18].

Conclusiones

Con base en los estudios realizados en las islas Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela dentro del marco del programa “Agua para Galápagos”, se puede concluir que, a pesar de que se ha invertido y propuesto una cantidad significativa de dinero en temas de cambio climático y gestión del agua en el archipiélago, aún es necesario financiar y garantizar su efectividad en los siguientes temas:

1. Desarrollar proyectos de investigación para mejorar los datos hidrológicos, y comprender mejor el balance hídrico y las características de las cuencas hidrográficas de las islas, así como desarrollar nuevas alternativas para suministrar el agua, y satisfacer la demanda actual y futura.
2. Llevar a cabo planes de monitoreo, control, prevención y mitigación de la contaminación del agua, y evaluar el impacto de la calidad del agua en la salud pública.
3. Impulsar programas de sensibilización sobre el uso y conservación del agua.
4. Mejorar el almacenamiento y distribución de agua para el sector urbano y agrícola, y la infraestructura para tratamiento de aguas residuales.
5. Aplicar planes de gestión integral del agua que consideren las consecuencias y soluciones climáticas [27].
6. Evaluar de manera integral los impactos medibles en la calidad del agua en cada una de las tres islas. La limitada cantidad de agua dulce; la falta de limpieza y mantenimiento de los sistemas de distribución, almacenamiento de agua y tuberías; la falta de acceso a estos servicios; la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de alcantarillado eficaces, y las diferencias políticas son problemas actuales de gestión y gobernanza del agua en las islas Galápagos [18].
7. Generar un sistema de transparencia que garantice que los fondos sean utilizados adecuadamente y que se cumplan los objetivos de los proyectos relacionados con el manejo del agua en las islas Galápagos [18].

Finalmente, mediante el programa “Agua para Galápagos” en Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, se ha generado información valiosa que puede ser utilizada

como base para mejorar la toma de decisiones actual y futura, y garantizar que se aborden eficazmente las prioridades y preocupaciones identificadas por la comunidad, las instituciones gubernamentales, la comunidad científica y las partes interesadas claves. Este programa participativo contribuye de manera tangible a preservar y conservar el recurso hídrico en las islas Galápagos, y podría ser un modelo de colaboración y desarrollo sostenible que se replique en otras temáticas en el archipiélago.

Además, es crucial mencionar que la participación de los estudiantes de pregrado de Ingeniería Ambiental de la USFQ, y de pregrado y posgrado de diversas carreras de UNC-Chapel Hill en este proyecto de vinculación ha sido de suma importancia. Los estudiantes han colaborado activamente en la parte experimental y de campo, al tomar muestras de agua y encuestar en distintos puntos de las islas San Cristóbal, Isabela y Santa Cruz; así como al analizar muestras, tabular datos, analizar resultados y redactar publicaciones científicas. Este proyecto participativo ha permitido a los estudiantes poner en práctica los conocimientos adquiridos en sus carreras y complementarlos con esta formación práctica, y han aportado a su crecimiento profesional y personal.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero de la Universidad San Francisco de Quito mediante los fondos POA 2014-2018 asignados a Valeria Ochoa-Herrera, el Centro de Estudios de Galápagos de UNC-Chapel Hill, Fairfield University's Mahoney Fund, y Emerson College. Agradecemos también la asistencia logística y administrativa del Galápagos Science Center (GSC), una unidad de investigación conjunta de la Universidad San Francisco de Quito y la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. Agradecemos el apoyo del GSC y su personal, incluidos Steve Walsh, Carlos Mena, Diego Quiroga, Sofía Tacle, Ana Lucía Carrión, Gabriela Morales y María Soledad Sarzosa. Expresamos nuestro agradecimiento a los representantes de los municipios de Puerto Baquerizo Moreno, Puerto Ayora y Puerto Villamil, y de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz (EPMAPASC). Finalmente, expresamos nuestra gratitud a nuestros estudiantes de pregrado y posgrado de la USFQ y de UNC-Chapel Hill. ●

Bibliografía

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos. (10 de noviembre de 2016). Galápagos tiene 25.244 habitantes según censo 2015. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/galapagos-tiene-25-244-habitantes-segun-censo-2015/>
- [2] Parque Nacional Galápagos. (2018). Informe anual 2018: visitantes a las áreas protegidas de Galápagos, Ecuador. Galapagos National Park.
- [3] Vásquez, W. F., Raheem, N., & Ochoa-Herrera, V. (datos sin publicar).
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). Principales resultados Censo de Población y Vivienda Galápagos 2015. INEC.
- [5] Mateus, C., Guerrero, C., Quezada, G., Lara, D., & Ochoa-Herrera, V. (2019). An Integrated Approach for Evaluating Water Quality between 2007-2015 in Santa Cruz Island in the Galapagos Archipelago. doi: <https://doi.org/10.3390/w11050937>
- [6] Ragazzi, M., Catellani, R., Rada, E., Torretta, V., & Salazar-Valenzuela, X. (2016). Management of urban wastewater on one of the Galapagos islands. *Sustainability*, 8, 1–19.
- [7] Ulloa, D., Quevedo, T., & Sanafria, S. (2019). Tarifa de agua y gestión de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz - EPMAPASC.
- [8] Reyes, M., Trifunovic, N., Sharma, S., d'Ozouville, N., & Kennedy, M. (2017). Quantification of urban water demand in the island of Santa Cruz (Galápagos Archipelago). *Desalination and Water Treatment*, 64, 1–11.
- [9] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Cristóbal. (n/d). Atractivos Turísticos. Recuperado de <http://sancristobalgalapagos.gob.ec/web/index.php>
- [10] El Telégrafo. (01 de diciembre de 2014). El Junco, la única laguna de agua dulce de Galápagos. *El Telégrafo*. Recuperado de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/recovecos/1/el-junco-la-unica-laguna-de-agua-dulce-de-galapagos>
- [11] Grube, A. M., Stewart, J. R., & Ochoa-Herrera, V. (2020). The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (INT J HYG ENVIR HEAL). doi:10.1016/j.ijheh.2020.113547
- [12] Meza Vera, A. (23 de octubre de 2011). San Cristóbal inauguró planta de tratamiento de aguas residuales. Recuperado de: <http://insulargalapagos.blogia.com/2011/102304-san-cristobal-inauguro-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php>

- [13] Houck, K. M., Terán, E., Ochoa, J., Zapata, G. N., Gomez, A. M., Parra, R., & Thompson, A. L. (2019). Drinking water improvements and rates of urinary and gastrointestinal infections in Galápagos, Ecuador: Assessing household and community factors. *American Journal of Human Biology*. doi:10.1002/ajhb.23358
- [14] Niveló, S. I. (2015). Monitoreo de la calidad del agua en San Cristóbal, Galápagos. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4696/1/112458.pdf>
- [15] Moscoso Urgilez, J. (2017). Proyecto de seguimiento en monitoreo de la calidad del agua en San Cristóbal, Galápagos. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: t.ly/D9dP
- [16] Galapagos Conservancy. (Sin fecha). Isabela. Recuperado de: https://www.galapagos.org/about_galapagos/about-galapagos/the-islands/isabela/
- [17] Izurieta, J. (2017). Behavior and trends in tourism in Galapagos between 2007 and 2015. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.
- [18] Mateus, C., Valencia, M., DiFrancesco, K., Ochoa-Herrera, V., Gartner, T., & Quiroga, D. (2020). Governance mechanisms and barriers for achieving water quality improvements in Galapagos. *Sustainability* 12 (21), 851.
- [19] WWF. (01 de abril de 2016). El tratamiento biológico de aguas residuales, fundamento de una comunidad saludable. Recuperado de: t.ly/uvPe
- [20] Badhwa, N., Fejfar, D., Pozo, R., Nicholas, K., Grube, A., Stewart, J., Thompson, A. & Ochoa-Herrera, V. (2021). Water quality and access in Isabela: Results from a household water survey. En Thompson, A., Ochoa-Herrera, V. & Terán, E. (eds), *Water, Food and Human Health in the Galapagos, Ecuador: A little word within itself*. Social and Ecological Interactions in the Galapagos Islands. Springer (accepted).
- [21] United Nations. (30 de agosto de 2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [22] Salazar Espinoza, M. (2017). Monitoreo de la Calidad del Agua en el año 2016: San Cristóbal, Galápagos. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6548>
- [23] American Public Health Association. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington.

- [24] Borja-Serrano, P., Ochoa-Herrera, V., Maurice, L., Morales, G., Quilumbaqui, C., Tejera, E., & Machado, A. (2020). Determination of the Microbial and Chemical Loads in Rivers from the Quito Capital Province of Ecuador (Pichincha)—A Preliminary Analysis of Microbial and Chemical Quality of the Main Rivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph17145048
- [25] Ministerio del Ambiente. (2017). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. Recupeado de: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/01NOR2003-TULSMA.pdf>
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). Drinking Water Requirements. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [27] Mateus, C. & Quiroga, D. (2021). Galapagos' water management evaluation under a changing climate and current COVID-19 pandemic. En Thompson, A., Ochoa-Herrera, V. & Terán, E. (eds), *Water, Food and Human Health in the Galapagos, Ecuador: A little word within itself. Social and Ecological Interactions in the Galapagos Islands*. Springer (accepted).
- [28] Izurieta, A., Delgado, B., Moity, N., Calvopiña, M., Cedeño, I., Banda-Cruz, G., ... Sutherland, W. J. (2018). A collaboratively derived environmental research agenda for Galapagos. *Pacific Conservation Biology*. doi: <https://doi.org/10.1071/PC17053>
- [29] Reyes, M., Petričić, A., Trifunović, N., & Sharma, S. (2019). Water Management Strategies Using Multi-Criteria Decision Analysis in Santa Cruz Island (Galapagos Archipelago). *Scientific Review*, 56, 112–123. doi: <https://doi.org/10.32861/sr.56.112.123>
- [30] Reyes, M., Trifunovic, N., Sharma, S., Kapelan, Z., & Kennedy, M. (2017). Mitigation Options for Future Water Scarcity: A Case Study in Santa Cruz Island (Galapagos Archipelago). *Water*, 597. doi: <https://doi.org/10.3390/w9080597>
- [31] Becerra, N. (2017). Development of a water filtration system using design thinking for Social Innovation in San Cristobal, Galapagos-Ecuador. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6748>
- [32] Gonzales, J. A., Montes, C., Rodríguez, D. J., & Tapia, W. (2008). Rethinking the Galapagos Islands as a complex social-ecological system: Implications for conservation and management. *Ecology and Society*, 13.
- [33] Gobierno Autónomo Descentralizado de San Cristóbal. (2017). Ordenanza Presupuestaria del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón San Cristóbal para el ejercicio económico del año 2018. Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos, Ecuador: Gobierno Autónomo Decentralizado Municipal de San Cristóbal.

[34] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2016. Isabela, Galápagos, Ecuador. Recuperado de: https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/PDOT-ISABELA-2012_2.pdf