

INFORME GALAPAGOS 2011-2012

SISTEMAS HUMANOS

CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN PUERTO AYORA: INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA APLICADA UTILIZANDO *ESCHERICHIA COLI* COMO UNA BACTERIA INDICADOR

JESSIE LIU Y NOÉMI D'OZOUVILLE

Para citar el documento

DPNG, CGREG, FCD y GC. 2013. Informe Galapagos 2011-2012. Puerto Ayora, Galapagos, Ecuador.

Para citar este artículo

Liu J y N d'Ozouville. 2013. Contaminación del agua en Puerto Ayora: Investigación interdisciplinaria aplicada utilizando *Escherichia coli* como una bacteria indicador. Pp. 76-83. En: Informe Galápagos 2011-2012. DPNG, GCREG, FCD y GC. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.

Se debe citar la fuente en todos los casos. Fragmentos de este producto pueden ser traducidos y reproducidos sin permiso siempre que se indique la fuente.

El contenido y las opiniones expresadas en cada uno de los artículos es responsabilidad de los autores.

*La **Dirección del Parque Nacional Galápagos** tiene su sede principal en Puerto Ayora, isla Santa Cruz, Galápagos y es la institución del Gobierno del Ecuador responsable de la administración y manejo de las áreas protegidas de Galápagos.*

*El **Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos** tiene su sede principal en Puerto Baquerizo Moreno, isla San Cristóbal, y es el organismo del Gobierno del Ecuador responsable de la planificación y administración de la provincia.*

*La **Fundación Charles Darwin**, una organización no gubernamental registrada en Bélgica, opera la Estación Científica Charles Darwin en Puerto Ayora, Isla Santa Cruz, Galápagos.*

***Galapagos Conservancy** tiene su sede en Fairfax, Virginia, EE.UU. y es la única organización en los EE.UU. sin fines de lucro enfocada exclusivamente en la protección a largo plazo del Archipiélago Galápagos*



Foto: Noémi d'Ozouville

Contaminación del agua en Puerto Ayora: investigación interdisciplinaria aplicada utilizando *Escherichia coli* como una bacteria indicador

Jessie Liu¹ y Noémi d'Ozouville²

¹Estudiante becaria del programa Fulbright - Estados Unidos, Fundación Charles Darwin

²Estudios integrados del agua en las islas Galápagos (GIIWS), UMR-Sisyphé, Universidad Pierre y Marie Curie, Universidad Sorbona

Introducción

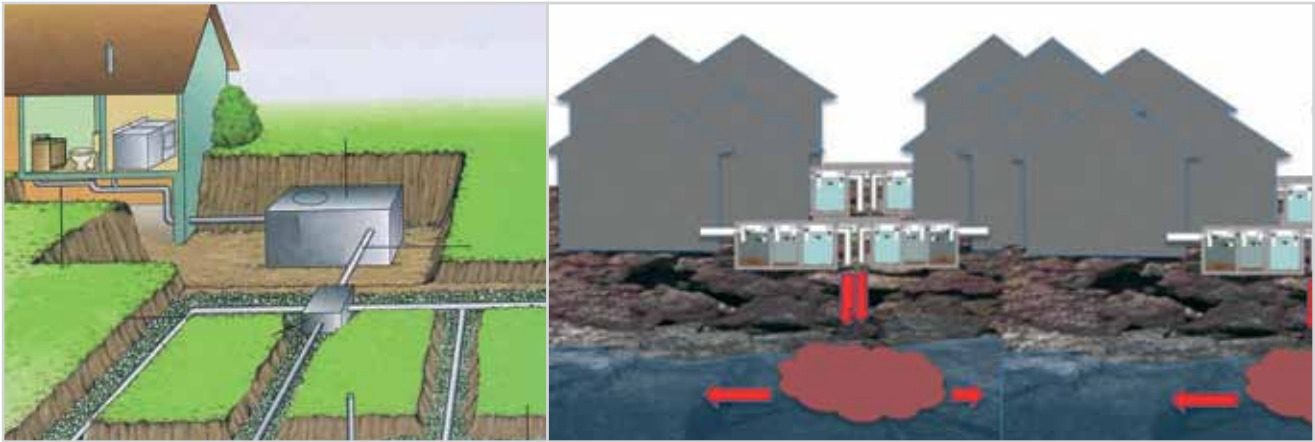
*“...de la fuente vertía **agua más salada que la del mar**; en tierra no fueron siquiera capaces de encontrar **una gota de agua en dos días...**”* Tomás de Berlanga, 1535, Carta a su Majestad el Rey de España.

La calidad y cantidad del agua dulce ha sido un problema recurrente en Galápagos (d'Ozouville & Merlen, 2007). De las cinco islas habitadas, solo San Cristóbal cuenta con una fuente permanente de agua dulce en forma de riachuelos superficiales. Las otras islas dependen de manantiales de bajo flujo (Floreana), de la extracción de acuíferos basales de agua salobre (Santa Cruz e Isabela) o de otras fuentes dependientes del transporte y la desalinización (Baltra) para la provisión de agua (d'Ozouville, 2007; Guyot *et al.*, este volumen). Tanto Santa Cruz como Isabela sufren la contaminación de sus aguas subterráneas debido a que: los acuíferos basales se localizan por debajo de densos asentamientos humanos, falta un efectivo tratamiento de las aguas servidas y mezcla con el agua del mar (López y Rueda, 2010). La pobre calidad del agua ha sido asociada con predominantes problemas de salud en aquellas comunidades (Consejo de Gobierno de Galápagos, 2010).

La provisión de agua municipal en Puerto Ayora se ve afectada por un restringido horario de suministro y problemas en la tubería de la red de distribución (Guyot-Tephany, 2010). El agua potable está en manos de compañías privadas de purificación y para una porción de la población, depende de la precipitación (d'Ozouville, 2008). La calidad del agua es una preocupación de importancia (INEC, 2011) ya que se han identificado repetidamente desde mediados de la década de 1980, altas concentraciones de *Escherichia coli* (*E. coli*) en el acuífero basal que suministra el agua a Puerto Ayora (INGALA *et al.*, 1989; Proctor & Redfern Int, 2003; López y Rueda, 2010). El empleo de pozos sépticos para la disposición *in situ* de aguas servidas (Figura 1) no es adecuado para prevenir la contaminación de aguas subterráneas. Fueron utilizados inicialmente por los primeros pobladores en la década de 1930 y han persistido a través del tiempo a pesar de las realidades cambiantes (expansión y densificación urbanas; Sánchez, 2007), principalmente debido al costo prohibitivo que tiene la implementación en suelos volcánicos de un sistema de servicios sanitarios tradicional alimentado por la gravedad. Con la esperanza de encontrar una solución innovadora a largo plazo para el problema, actualmente se están ejecutando iniciativas de salubridad públicas y privadas a pequeña escala: la Municipalidad opera dos pantanos secos artificiales para tratar el efluente de plantas de procesamiento y fabricación de alimentos, y un hotel y una pequeña urbanización en la parte alta cuentan con un sistema completo para el tratamiento de aguas residuales.

Este estudio tiene como objetivo establecer la línea base de la contaminación bacteriológica del agua y la salud en la isla Santa Cruz, donde viven 17 000 personas (INEC, 2011) y que recibe la mayoría de los 180 000 turistas por año que visitan Galápagos (DPNG, 2011). Se usa la bacteria *E. coli* como indicador de contaminación humana

porque es fácil de medir y sugiere presencia de patógenos más nocivos para la salud, pero más difíciles de detectar en el agua. Se utilizaron métodos interdisciplinarios e integrados para explorar las relaciones entre los impactos antropogénicos e hidrogeológicos en la calidad del agua.



Sistema séptico ideal

Pozo séptico + campo de drenaje =
 digestor anaeróbico + proceso anaeróbico;
 Areas remotos, densidad poblacional baja;
 Enterrado en el suelo;
 Ubicación aguas abajo de la fuente de agua;
 Bombeo regular del pozo séptico.

Actualmente en Puerto Ayora:

1 500 pozos sépticos sin campos de drenaje =
 alta carga bacteriológica en las aguas que salen del pozo;
 Alta densidad poblacional;
 Asentamiento directamente sobre la fuente de agua;
 Pozos sobre rocas de lava permeables fracturadas;
 No se bombea regularmente el pozo séptico.

Figura 1. Cuadro informativo sobre pozos sépticos: comparación entre la instalación de un sistema séptico ideal y la situación actual en Puerto Ayora, Santa Cruz.

Métodos

Además de recolectar muestras, examinamos el asunto del agua desde amplias perspectivas sociales y ambientales, y luego las limitamos a conocimiento individual, percepción y prácticas (Figura 2). Los componentes claves incluyeron:

- Muestras de agua:** Se analizaron cerca de 500 muestras de agua, a las que se les aplicó pruebas para *E. coli* y coliformes totales¹. Se recolectaron muestras de varias locaciones geográficas dentro del acuífero basal así como de locaciones estratégicas a lo largo de la ruta de provisión desde la fuente hasta el punto de uso en los hogares, tanto para agua doméstica como para consumo humano. Se tomaron muestras en blanco como medida de control para el muestreo y el proceso de análisis. Los resultados se presentan como valores medianos de todas las muestras.
- Encuestas en hogares:** Se realizaron 150 encuestas en hogares para establecer el conocimiento, actitudes y prácticas concernientes al agua, la salud y

los servicios sanitarios. Cada hogar se visitó tres veces: 1) para presentar el proyecto y realizar la encuesta; 2) para obtener muestras de agua, y 3) para comunicar los resultados personalizados.

- Entrevistas e información:** Se compiló información de laboratorios y hospitales referente a enfermedades y resultados de análisis durante el período comprendido entre noviembre de 2009 y octubre de 2010. Se realizaron entrevistas con compañías de agua, doctores, laboratorios y autoridades.

Acuífero basal

Se muestreó el agua de ocho grietas urbanas y periurbanas (Figura 3, Tabla 1). Las grietas dentro de los límites urbanos contenían niveles más altos de contaminación que aquellas ubicadas en las afueras o a varios kilómetros de la población. Tres de los cuatro sitios de extracción municipal presentaron niveles bajos de *E. coli* (0-10 CFU/100 ml). La grieta Misión presentó niveles extremadamente altos de contaminación y fue

¹**Coliformes totales:** indican contaminación ambiental por tierra, hojas, animales. **Coliformes fecales:** indican contaminación por heces de aves y mamíferos (incluyendo humanos). **E. coli:** indica contaminación de heces humanas y de otros mamíferos. **Unidades:** Unidades de Formación de Colonias (CFU)/ml o Número Más Probable (MPN)/ml. Normas en Ecuador para agua doméstica: 600 MPN/ml para **coliformes fecales** (MPN y CFU no son intercambiables y tampoco pueden ser inter-convertidos).

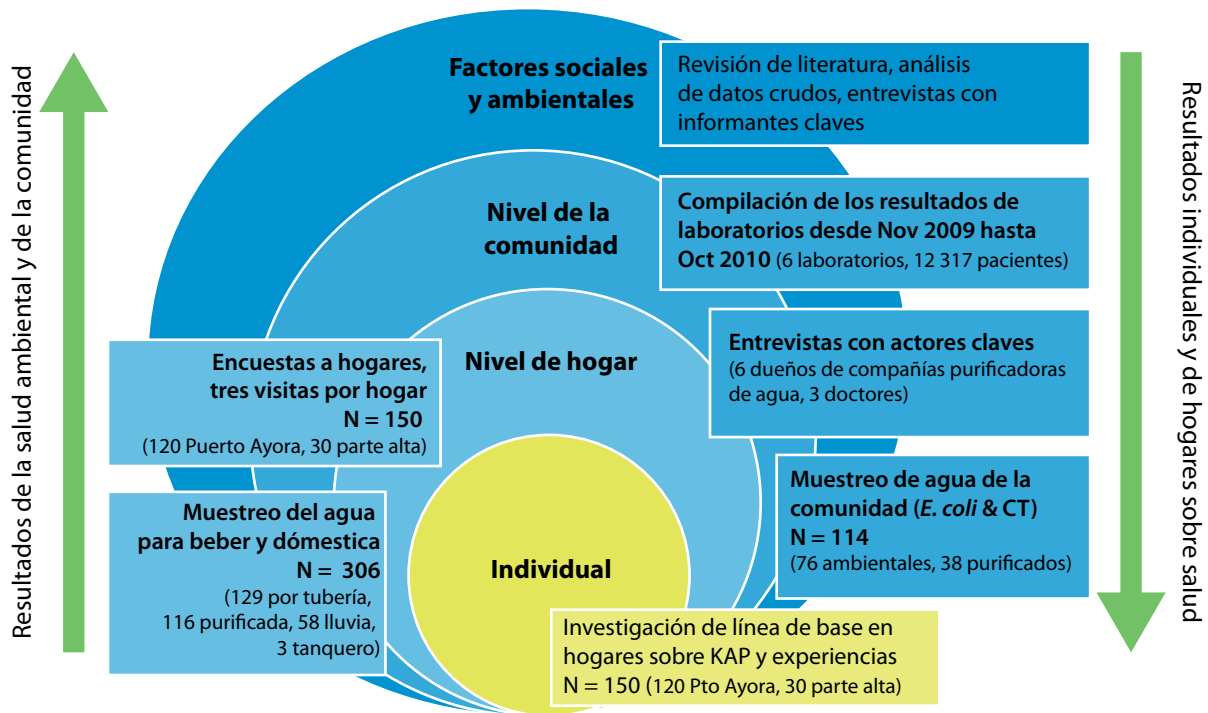


Figura 2. Diagrama representativo de los niveles integrados de la metodología.

oficialmente clausurada por la Municipalidad en octubre de 2011 (D. Sarango, com. pers.). Los altos niveles de coliformes totales en ciertas grietas (Figura 4) indican que están sujetas a contaminación ambiental general y requieren optimizar su protección.

Los resultados son consistentes con la expectativa de que los pozos sépticos dentro de las áreas densamente pobladas sean la principal fuente de contaminación fecal. Los hallazgos también sugieren que el flujo de agua dentro del acuífero basal es aún hacia el mar, protegiendo

por ende las fuentes de agua que están localizadas por encima de los focos de contaminación. Sin embargo, un bombeo excesivo pudiera ocasionar que el flujo en el acuífero basal se dirija hacia tierra poniendo en riesgo a estas fuentes. Un mayor desarrollo hacia el interior pudiera causar futura contaminación si no se implementan medidas preventivas importantes para el manejo de aguas residuales. De particular preocupación son los desarrollos urbanísticos: 1) alrededor del pozo profundo, 2) en el recinto El Guayabillo sobre La Camiseta y 3) El Mirador, que yace por encima de la grieta del INGALA.



Figura 3. Mapa de las fuentes de agua y niveles de contaminación de Puerto Ayora.

Tabla 1. Características de las fuentes de agua en Puerto Ayora.

Fuente	Cobertura Vegetal	Cobertura urbana	Salinidad	Usuarios	Uso	Dist.del mar (m)	Altitud (m)
Estación Científica Charles Darwin	Baja	Baja	6,8	ONG	Doméstico	100	15
Cementerio El Edén	Alta	Alta	--	Privados	Doméstico	50	5
Misión Franciscana (cerrada desde octubre de 2011)	Ninguna	Muy alta	2,3	Municipal y privados	Red de distribución y planta desalinizadora privada	545	20
El Barranco	Baja	Alta	1,4	Privados	Tanqueros	1 200	31
Martin Schreyer A & B	Baja	Alta	--	Privados	Desalinización y distribución	280	15
Centro Miguel Cifuentes /Entrada a Tortuga Bay	Alta	Baja	2,8	Privados	Desalinización y agua potable	500	17
INGALA/Pampas Coloradas	Baja	Media	1,7	Municipal	Distribución local	1 100	23
La Camiseta	Alta	(Parque nacional)	2,9	Municipal	Distribución local	1 600	34
Pozo profundo	Alta	Baja	0,8	Municipal	Distribución local	4 700	157

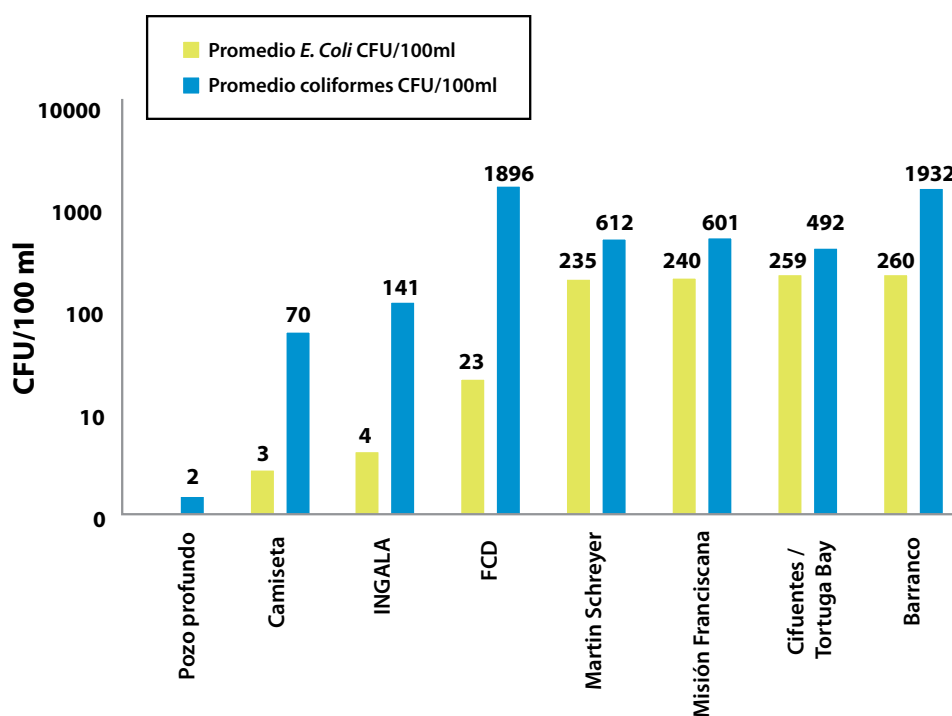


Figura 4. Contaminación bacteriológica de las fuentes de agua de la isla Santa Cruz: niveles de *E. coli* y coliformes totales en las diferentes fuentes de agua (CFU = unidades que conforman colonias).

Suministro de agua doméstica

Los niveles de *E. coli* en los hogares, a pesar de que varían en extremo de hogar a hogar, fueron consistentemente más altos que los niveles detectados en sus fuentes respectivas (Figura 5). Estudios previos han mostrado de manera estable patrones similares en el incremento de

la contaminación cuando el agua es almacenada en los hogares (Oswald *et al.*, 2007; Brick *et al.*, 2004; Wright *et al.*, 2004). La recontaminación puede ocurrir en el sistema de distribución, en el sistema de almacenamiento en los hogares o por las prácticas en los hogares, como guardar el agua en recipientes sin tapa sellada, o usar jarras o cucharones en vez de un grifo para verterla

directamente. Esto resalta la importancia de cambios de comportamiento en el punto de uso y en las opciones de un almacenamiento limpio. En el pasado se contaba con centrales de cloración con cloro-gas, lo que no prevenía

la recontaminación. La recontaminación probablemente continuará con un índice alto hasta que sea posible una distribución ininterrumpida del agua.

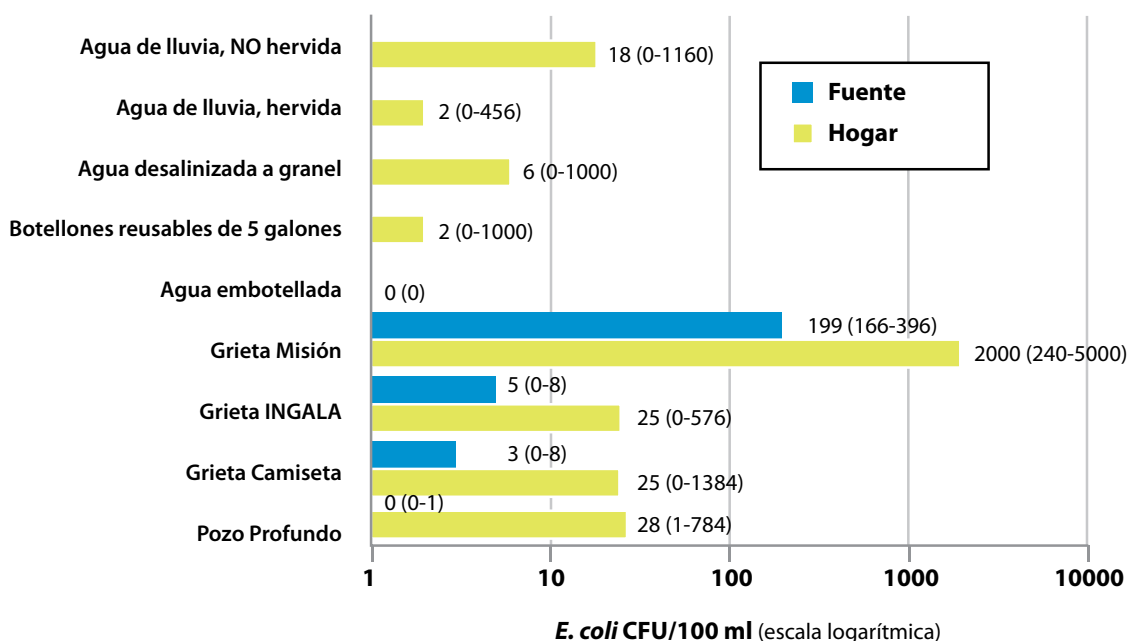


Figura 5. Comparación de niveles de contaminación entre fuente y hogar, mostrando valores medianas y rango de resultados.

Agua potable – plantas de desalinización y embotellamiento

Compañías purificadoras privadas (en la actualidad seis; al momento del estudio solo existían cinco) proveen de agua a los hogares, oficinas, restaurantes, hoteles, embarcaciones y tiendas (Figura 6). La mayor venta de agua se da en Puerto Ayora, con un pequeño porcentaje en Bellavista y Santa Rosa. El agua se vende en tres formas: 1) al granel (~US\$30/m³), 2) botellones reusables de cinco galones (~US\$100/m³), o 3) botellas nuevas (5 L, 2 L, 500 mL; en ~US\$120/m³). Se calcula que entre todas las compañías purificadoras se vende aproximadamente 30 m³ de agua desalinizada diariamente. De acuerdo a sus propietarios, la producción no se almacena; toda el agua se vende el mismo día.

Muestras de agua purificada tomadas inmediatamente después de su procesamiento mostraron niveles no detectables de *E. coli*. De modo similar, el agua embotellada en recipientes estériles no reusables de 0,5 L y 5 L mostraron niveles no detectables. En contraste, los resultados del agua al granel y de los botellones reusables de cinco galones mostraron niveles altamente variables de contaminación, independientes de la fuente. La calidad afectada del agua al granel puede asociarse con potenciales fuentes de contaminación durante el transporte y su almacenamiento. La contaminación al azar y extremadamente variable de los botellones de cinco galones puede ser atribuida a la ausencia de un

protocolo fijo de esterilización para los envases devueltos y a un desconocido estado de depósito y transporte de botellones entre los hogares y las compañías purificadoras. Por lo tanto, a pesar de que la mayoría de las prácticas de esterilización del agua son apropiadas y han tenido niveles no detectables de *E. coli*, el embotellar agua limpia en recipientes sucios y reusados, su transporte y la falta de control sobre las condiciones en los hogares de los clientes son desafíos para proveer un seguro consumo de agua potable.

Salud y prácticas en el hogar

Los contaminantes biológicos del agua pueden causar infecciones gastrointestinales, respiratorias y de la piel, y exacerbaban la normalmente saludable flora intestinal en los tractos urinarios y reproductivos. Setenta y seis por ciento de las encuestas en hogares revelaron que al menos un miembro de la familia tuvo uno o más de los indicadores de enfermedades durante las dos semanas anteriores a la encuesta.

Menos del 50% de los hogares reportó síntomas de infección respiratoria o alguna infección gastrointestinal (41% y 40%; Figura 7). De las personas encuestadas, 13,3% dijo no haberse sentido lo suficientemente bien para trabajar debido a problemas estomacales. Los resultados de 3 541 análisis de heces demostraron la frecuencia y el tipo de infecciones gastrointestinales: 64% dio positivo para parasitosis (Figura 8).

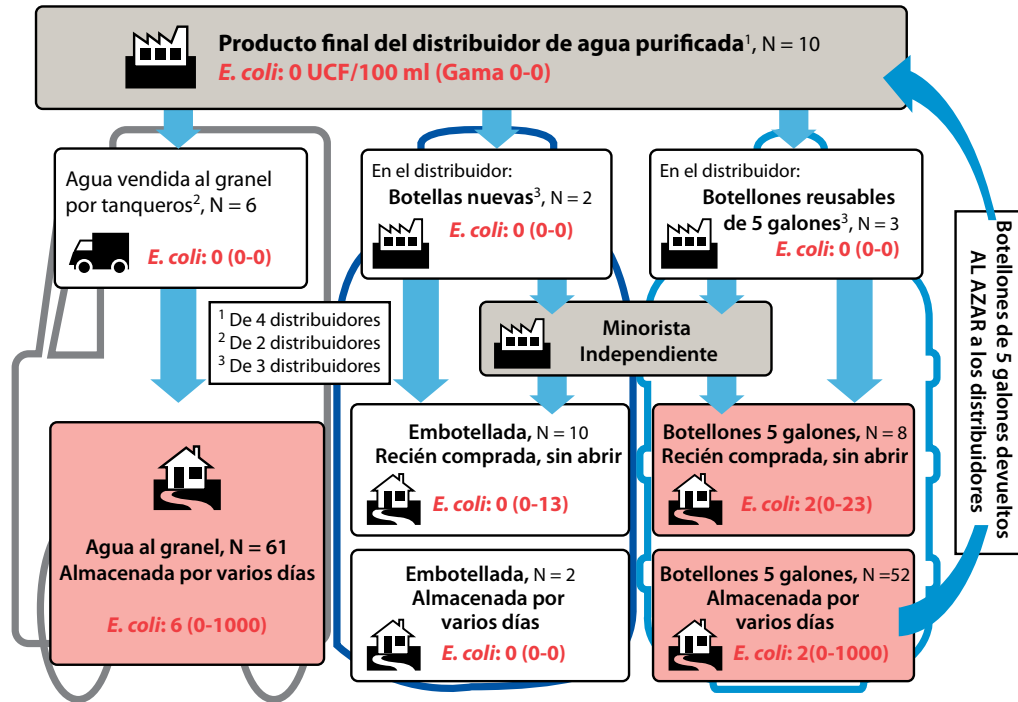


Figura 6. Diagrama representativo de la distribución del agua en Puerto Ayora.

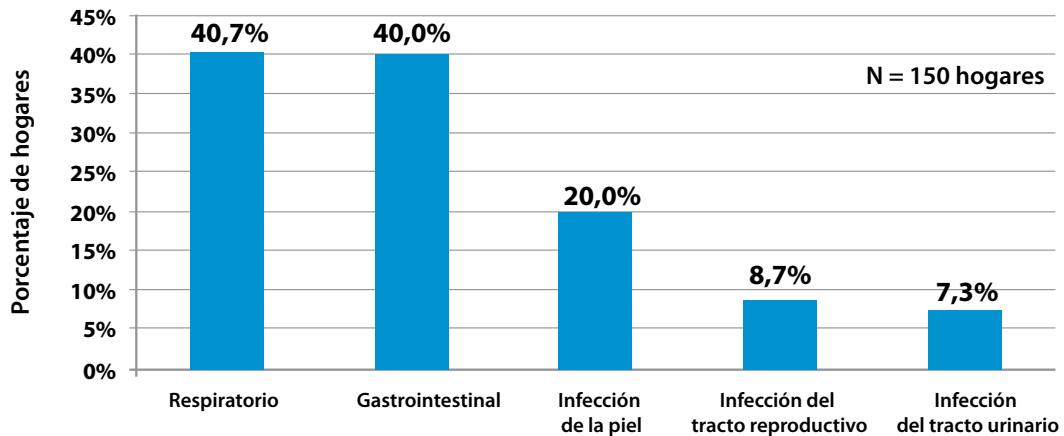


Figura 7. Morbilidad de las enfermedades relacionadas con el agua en los hogares en Santa Cruz, en las dos semanas anteriores a la entrevista.

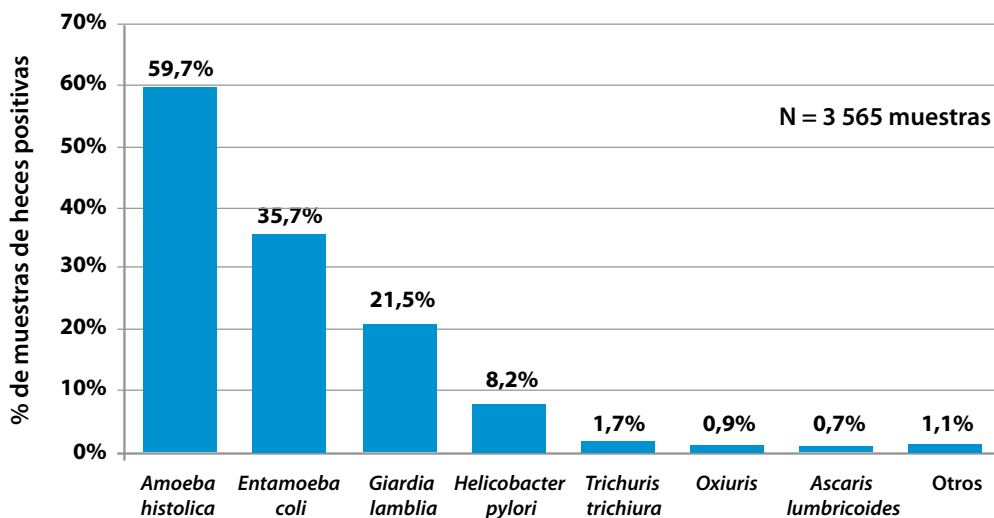


Figura 8. Tasas de parasitosis diagnosticadas en Puerto Ayora, octubre 2009 – noviembre 2010. Parásitos identificados en muestras de heces en los laboratorios de Puerto Ayora; muestras de heces presentaron 29% de todos los exámenes y 64% fueron positivas.

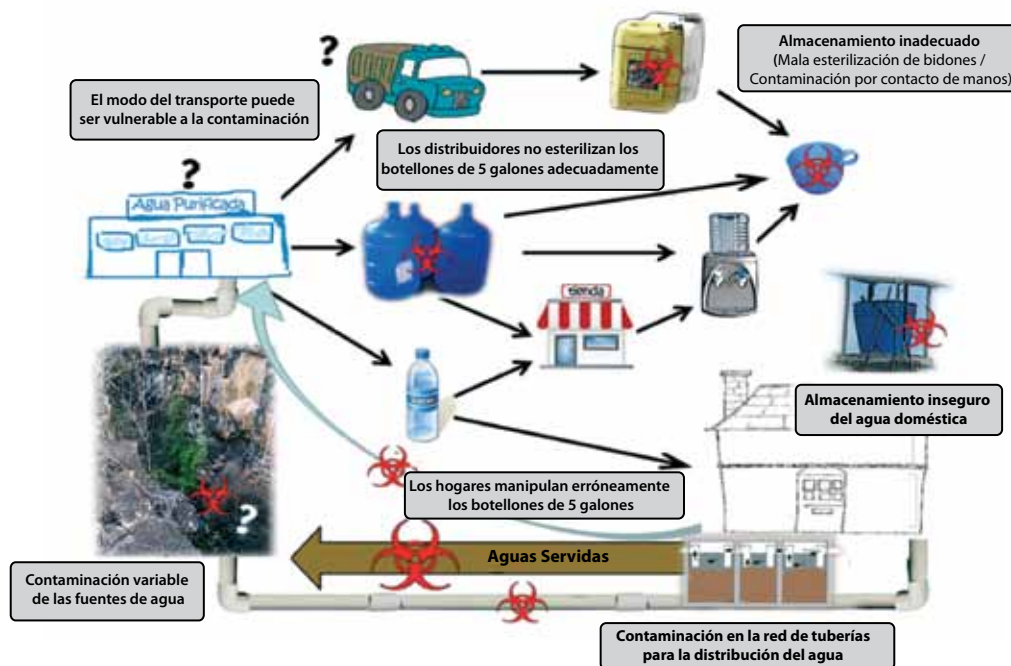


Figura 9. Diagrama del modelo actual del recorrido del agua doméstica y potable en Puerto Ayora, desde la fuente hacia el destino, y puntos débiles en el sistema.

La incidencia anual en la población de Santa Cruz de infecciones parasíticas gastrointestinales se valoró en 9-13,5% luego de eliminar un estimado de 10-40% de pacientes quienes fueron turistas. De las personas encuestadas, 81% indicó que habían tomado medicamentos contra parásitos al menos una vez en su vida.

Es importante tomar precauciones en el hogar en cuanto al almacenamiento del agua y sus dispensadores para prevenir la contaminación en el punto de uso. A pesar de que el 58% de los hogares mantenía su agua potable en recipientes tapados, muchos de éstos no estaban apropiadamente sellados (e.g., tapas en jarros, tapas plásticas en botellones de cinco galones). Los métodos para dispensar agua potable también están asociados con niveles de contaminación por *E. coli*. El usar un grifo es mejor que usar una taza o algún otro receptáculo para sacar el agua de su lugar de depósito. De los hogares encuestados, 19% usaba un grifo.

Modelos multivariados de factores socioeconómicos, prácticas en el hogar y características del agua mostraron que la calidad bacteriológica del agua doméstica y potable no fue en sí mismo aclaratorio para la alta incidencia de enfermedades relacionadas con el agua. Las relaciones entre las prácticas en el hogar, nivel de contaminación e incidencia de enfermedades son complejas. Esto puede explicarse por: 1) la ocurrencia de enfermedades relacionadas con bacterias que es independiente del grado de contaminación por *E. coli*; 2) la existencia de otras rutas de transmisión fecal-oral a través del alimento o la falta de higiene en las manos; y 3) los métodos para almacenar o dispensar el agua potable que pueden causar recontaminación.

Conclusiones

Este estudio ha resaltado que la Municipalidad de Santa Cruz opera tres fuentes de agua que presentan una baja contaminación por *E. coli*, pero que el presente sistema de distribución de agua y las prácticas comunes en los hogares están incrementando el nivel de contaminación.

El convertir en realidad el agua potable para Puerto Ayora debe incluir una revisión completa de la distribución, almacenamiento y las prácticas en el hogar (Figura 9). La implementación de una planta desalinizadora de agua salobre a gran escala solo garantizará un agua segura en los hogares para su uso doméstico y de consumo humano si es que constituye uno de los componentes de un sistema integral del agua.

Mas aun, este estudio demuestra que todos los niveles de la comunidad están en riesgo de contraer enfermedades relacionadas con el agua debido a prácticas variables de esterilización y las condiciones de los recipientes reusables. Cualquier restaurante, hogar, embarcación u hotel puede tener botellones contaminados, que podrían generar consecuencias para la salud humana y los negocios privados.

Por último, el mal funcionamiento de los pozos sépticos nuevamente ha mostrado comprometer enormemente la calidad del agua. Mejorar el servicio de los sistemas sanitarios requiere de atención inmediata, ya que el uso privado y clandestino del agua en el pueblo continuará recurriendo a la fuente contaminada.

Recomendaciones

Respaldados por los resultados y conclusiones de este estudio, proponemos las siguientes recomendaciones para garantizar una calidad mejorada del agua y la salud de la comunidad en el corto y largo plazo:

1. Monitoreo bacteriológico semanal de la calidad del agua de las fuentes municipales de agua. Los análisis deberían hacerse en Galápagos en los laboratorios existentes por un técnico capacitado, en vez de enviar las muestras al continente.
2. Establecimiento de una ordenanza municipal que exija la esterilización certificada de los botellones reusables de cinco galones de agua potable.
3. Clausura inmediata de cualquier sitio de extracción con niveles de *E. coli* por encima de los límites recomendados.

4. El cese del uso de pozos sépticos y la implementación de sistemas sanitarios alternativos en los hogares individuales (*in situ*), o recoger las aguas residuales de las casas y llevarlas a una planta de tratamiento en las afueras del perímetro urbano.
5. Implementación de una campaña de educación comunitaria sobre cómo proteger de la contaminación al agua potable y al agua de uso doméstico en los hogares.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a: Fulbright International, Dirección del Parque Nacional Galápagos, Agrocalidad-SICGAL, Municipalidad de Santa Cruz, las compañías purificadoras de agua en Puerto Ayora y la población local.

Referencias

- Brick T, B Primrose, R Chandrasekhar, R Sheela, M Jayaprakash & K Gagandeep. 2004. Water contamination in urban south India: household storage practices and their implications for water safety and enteric infections. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 207:473-80.
- Consejo de Gobierno de Galápagos (CGREG). 2010. Boletín Así Vamos Galápagos, Agosto 2010, Tema: Salud. 10 pp.
- Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG). 2011. Statistics of visitors to Galapagos (2011) http://www.galapagospark.org/oncol.php?page=turismo_estadisticas. Visitada el 20 de abril del 2012.
- d'Ozouville N. 2008. Management of water resources: The case of Pelican Bay watershed. En: Galapagos Report 2007-2008. FCD, SPNG, INGALA. Pp. 158-164.
- d'Ozouville N. 2007. Fresh water in Galapagos: The reality of a critic resource. En: Galapagos Report 2006-2007. FCD, SPNG, INGALA. Pp.146-150.
- d'Ozouville N & G Merlen. 2007. Agua dulce o la supervivencia en Galápagos. En: Galápagos: *Migraciones, economía, cultura, conflictos y acuerdos*. Eds. P Ospina & C Falconí. Univ. Andina Simón Bolívar, PNUD & Corporación Editora Nacional. Quito.
- Guyot-Tephany J. 2010. Perceptions, usages et gestion de l'eau a Santa Cruz, Galapagos, Equateur. Université de Metz Paul Verlaine. Tesis no publicada. 130 pp.
- INEC. 2011. Encuesta de condiciones de vida: Galápagos 2009-2010.
- INGALA, PRONAREG & ORSTOM. 1989. Inventario cartográfico de los recursos naturales, geomorfología, vegetación, hídricos, ecológicos, y biofísicos de las islas Galápagos, Ecuador. 160 pp.
- López J & D Rueda. 2010. Water quality monitoring system in Santa Cruz, San Cristóbal, and Isabela. En: Galapagos Report 2009-2010. CDF, GNP & CGG. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador. Pp.103-107.
- Oswald W, A Lescano, C Bern, M Calderón, L Cabrera & R Gilman. 2007. Fecal contamination of drinking water within peri-urban households, Lima, Peru. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 77:699-704.
- Proctor & Redfern Int. 2003. Estudio de provisión de agua y tratamiento de aguas residuales de Santa Cruz. 45 pp.
- Sánchez G. 2007. Population dynamics in the towns of Galapagos Islands: A G.I.S. approach. A case study of Puerto Ayora town, Santa Cruz Island. MSc. Vrije Universiteit Brussel. 70 pp.
- Wright J, S Gundry & R Conroy. 2004. Household drinking water in developing countries: A systematic review of microbiological contamination between source and point-of-use. *Tropical Medicine and International Health* 9:106-117.