

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUAS
SUPERFICIALES EN COSTA RICA

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la
consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Salud Pública, para optar al grado y título de
Maestría Profesional en Salud Pública con Énfasis en
Gerencia

JAVIER VÁSQUEZ MORERA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

Dedicatoria

A todos aquellos voluntarios o profesionales que
participan en el monitoreo de la calidad de las aguas y
a quienes impulsan o ejecutan planes remediales para éstas

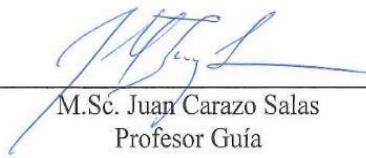
Agradecimientos

A quienes **inspiraron** mis estudios y mi interés por este trabajo
A mis **asistentes** Kenneth Calvo, Johan Durán y Daniel González por el apoyo brindado al
realizar la automatización de mis ideas
Al personal de la **Municipalidad** de Curridabat, particularmente a José Manuel Retana, por
creer en esta idea inicial
A los **voluntarios** que han participado en la recolección de datos o en la evaluación inicial
de los conceptos presentes en este proyecto
A los miembros del **equipo asesor** de este trabajo de graduación por sus atinadas
sugerencias
A mis **padres** que me enseñaron que ñel agua dulce, a cualquier precio, es barata
A mi **esposa e hijos** por la inspiración que cada día me brindan

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Salud Pública de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Salud Pública con Énfasis en Gerencia.”



M.Sc. Rebeca Alvarado Prado
Representante del Decano Sistema de Estudios de Posgrado



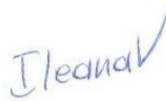
M.Sc. Juan Carazo Salas
Profesor Guía



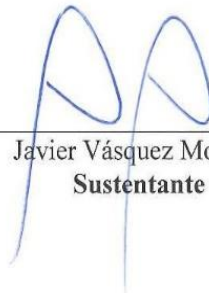
PhD. Christian Birkel Dostal
Lector



Dra. Milena Castro Mora
Lectora



M.Sc. Ileana Vargas Umaña
Representante del Director del Programa de Posgrado en Salud Pública



Javier Vásquez Morera
Sustentante

Tabla de Contenido

Portada.....	
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de aprobación	iv
Tabla de Contenido	v
Resumen	viii
Índice de tablas	ix
Índice de Figuras	ix
Tabla de abreviaturas	x
Autorización para digitalización.....	xiii
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.1.1. Importancia de monitoreo del agua	2
1.2. Justificación	7
1.3. Preguntas de Investigación	10
1.4. Objetivos: general y específicos	11
1.4.1. General.....	11
1.4.2. Específicos	11
2. Marco teórico.....	12
2.1. Legislación nacional para la protección de las aguas superficiales.....	12
2.1.1. Ley de aguas	12
2.1.2. “Gold Standard” de calidad de agua en Costa Rica	13
2.2. Relación entre la calidad del agua y la salud	14
2.3. Agua de calidad	23

2.3.1.	Pruebas físicas.....	25
2.3.2.	Pruebas químicas	26
2.3.3.	Pruebas bacteriológicas.....	26
2.4.	Estimación de la calidad de las aguas superficiales.....	26
2.5.	Índice de calidad de agua.....	29
2.6.	Formas conocidas para calcular este índice.....	30
2.6.1.	Índices físico-químicos.....	30
2.6.2.	Índices bióticos.....	31
2.6.3.	Índice para agua potable WQI	32
2.6.4.	Sistema Holandés de Valoración (MINAE, 2007 b)	33
2.6.5.	Índice de la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NSF)	36
2.7.	Sensibilidad del índice usado	41
2.8.	Ciencia ciudadana para el cuidado del agua.....	47
2.8.1.	Ciencia ciudadana	47
2.8.2.	Ciencia ciudadana en el monitoreo de calidad de agua	48
2.8.3.	Sensibilidad del equipo usado por voluntarios.....	53
3.	Marco Metodológico:.....	56
3.1.	Índice de calidad de aguas usando pruebas rápidas QTWQI.....	59
3.2.	Implementación.....	63
4.	Discusión, Resultados y Conclusiones	78
4.1.	Discusión	78
4.2.	Resultados y Conclusiones	83
4.3.	Posibles trabajos futuros	87
5.	Bibliografía:	89
	Anexo 1. Normalización de valores para el cálculo del índice de calidad de agua según la NSF.....	105
	Anexo 2. Registro de datos	110

Anexo 3. Procesamiento de datos	114
Anexo 4. Visualización de datos.....	118
Anexo 5. Materiales usados en la capacitación	120
Anexo 6. Protocolo de muestreo	123
Anexo 7. Toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico	133
Anexo 8. Resumen de talleres	136

Resumen

El presente trabajo final de graduación, propone e implementa la creación de un sistema para gestionar colaborativamente un mapa de calidad de agua fresca en Costa Rica, valiéndose de la cooperación entre algunas instituciones y la ciudadanía, quienes se encargarán de muestrear la calidad de las fuentes superficiales de agua, analizar estos datos y divulgar los resultados. Con esta investigación se busca ayudar a mejorar la calidad de las aguas superficiales y, por ende, la salud y la calidad de vida de los ciudadanos.

Con el afán por compartir y contrastar las evaluaciones de calidad de agua que se realizan, tanto a nivel local como internacional, así como con el objetivo de ayudar a proteger la calidad del agua en las fuentes superficiales, se usan en este trabajo, estándares internacionales, así como parte de la normativa vigente en Costa Rica para la categorización de la calidad del agua fresca. De igual manera se ha optado por el uso de tecnologías de bajo costo, que se seleccionaron, aprovecharon y se pusieron a prueba para la implementación de las herramientas de software contempladas en esta investigación. Como parte de este trabajo se han desarrollado herramientas digitales que presentan diversas alternativas para el análisis de la contaminación hídrica, y acorde con la revisión bibliográfica hecha por Buytaert et al (2014), se proponen ideas para el procesamiento y el apoyo a la toma de decisiones, que están ausentes en múltiples programas para el monitoreo del agua.

Índice de tablas

Tabla 1. Cantidad de muertes/enfermedades anuales en el mundo, relacionadas con la calidad del agua-Año 2004	18
Tabla 2. Parámetros usados según categoría del indicador de calidad del agua	23
Tabla 3. Variables monitoreables según tipo de uso del agua.....	28
Tabla 4. Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP	32
Tabla 5. Puntuación asignada según el Índice Holandés	34
Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua según el Índice Holandés	34
Tabla 7. Subíndices propuestos por Calvo para el cálculo de calidad del agua en CR	35
Tabla 8. Pesos de importancia según parámetro de la NSF	37
Tabla 9. Calificación de la calidad del agua por rangos según NSF	37
Tabla 10. Peso de parámetros usado en NSF-CPBC.....	39
Tabla 11. Funciones para normalización de los SI usadas en NSF-CPBC	40
Tabla 12. Criterios de calidad de agua usados en NSF-CPBC	40
Tabla 13. Proyectos exitosos de ciencia ciudadana para el monitoreo del agua.....	51
Tabla 14. Reglamentación vs un kit comercial de bajo costo para el monitoreo del agua...	55
Tabla 15. Transformación del valor observado en las pruebas rápidas	60
Tabla 16. Cálculo del NSF mediante distintos métodos.....	70
Tabla 17. Cálculo del Q_Value según curvas de dispersión	105
Tabla 18. Cálculo del Q_Value para Coliformes, DBO y OD	107
Tabla 19. Cálculo del Q_Value para pH, cambio de Temp y Turbiedad	108
Tabla 20. Cálculo del Q_Value para Sólidos totales y nitrato.....	109
Tabla 21. Resumen de respuestas correctas e incorrectas por equipo	121
Tabla 22. Cálculo del porcentaje de Saturación.....	125
Tabla 23. Registro en papel de valores monitoreados con Kit de bajo costo	132

Índice de Figuras

Figura 1 Amenazas globales a la seguridad del agua potable y a la biodiversidad.....	6
Figura 2. Pirámide de la abundancia de Diamandis	16
Figura 3. Avance mundial del cólera en el tiempo	20
Figura 4.Análisis de sensibilidad de parámetros del CWQI.....	44
Figura 5. Comparación del NSFWQI vs IWQI (2000-2004)	46
Figura 6. Modelo conceptual sobre el monitoreo del agua.....	56
Figura 7. Herramienta tecnológica para el monitoreo de aguas.....	84
Figura 8. Tablas de dispersión del Q_Value	106
Figura 9. Autenticación de voluntarios.....	111
Figura 10. Inserción de muestra.	112
Figura 11. Inserción de palabras clave en fotos	112
Figura 12. Pareo de datos USR-Aplicación.....	113

Figura 13. Filtrado de datos	115
Figura 14. Filtrado de datos por tipo de punto.....	115
Figura 15. Mapa calidad NSF-est	116
Figura 16. Mapa calidad IH	116
Figura 17. Variación del NH ₄ en el Río María Aguilar-Curridabat	117
Figura 18. Variación del %OD en el sitio Cascada Azul-Río María Aguilar-Curridabat...	117
Figura 19. Evolución de %OD Río María Aguilar-Curridabat	117
Figura 20. Solicitud de desglose de la medición.....	118
Figura 21. Visualización de datos muestreados	119
Figura 22. Selección de puntos a comparar	119
Figura 23. Diferencia entre sitios de muestreo	119
Figura 24. Cartas juego conocimientos hídricos.....	120
Figura 25. Calculadora consumo de agua.....	122

Tabla de abreviaturas

Abreviatura	Significado
As	Arsénico
ASADAS	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales
AWQI	Acceptability Water Quality Index
BMWP-CR	Biological Monitoring Water Programme.Costa Rica
BOD	Biological Oxygen Demand
CAAR	Comités Administradores de Acueductos Rurales
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
Cd	Cadmio
CPCB	Centrall Pollution Control Board
CR	Costa Rica
Cu	Cobre
CWQI	Canadien Council of Ministers of the Environment- Water Quality Index
DO	Demanda de Oxígeno
DWQI	Drinking Water Quality Index
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Fecal Coliforms
FDA	Food and Drugs Administration
Fe	Hierro
GAM	Gran Área Metropolitana
GLOBE	Global Learning and Observations to Benefit the Environment

HWQI	Health Water Quality Index
IBOD	Índice de Demanda Biológica de Oxígeno
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IDO	Índice de Demanda de Oxígeno
IFC	Índice de Coliformes Fecales
IH	Índice Holandés
IpH	Índice de Potencial de Hidrógeno
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
IWAMP	Water Allocation and Management Planning
IWQI	Iowa Water Quality Index
LMRHI-UNA	Laboratorio para el manejo del recurso hídrico-Universidad Nacional
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
Mo	Molibdeno
MS	Ministerio de Salud
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NH4	Amonio
Ni	Niquel
NSF	National Sanitary Foundation
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Oficina Panamericana de la Salud
pH	Potencial de Hidrógeno
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POI	Point Of Interest
QR	Quick Response Code
QTWQI	Quick Test Water Quality Index
SAP	San Antonio de Padua
Se	Selenio
SIDA	Síndrome de Inmuno Deficiencia Adquirida
TICs	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UCR	Universidad de Costa Rica
UN	United Nations
UNA	Universidad Nacional
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USD	United States Dollar
USR	Usuario
VIH	Virus de Inmunodeficiencia Humana
WHO	World Health Organization
WQI	Water Quality Index
WWAP	World Water Assessment Programme

ñPues debe considerarse que no hay nada más difícil de emprender, ..., ni más peligroso de manejar, que el introducir nuevas leyes. Se explica: el innovador se transforma en enemigo de todos los que se beneficiaban con las leyes antiguas, y no se granjea sino la amistad tibia de los que se beneficiarán con las nuevas. Tibieza en éstos, cuyo origen es, por un lado, el temor a los que tienen de su parte a la legislación antigua, y por otro, la incredulidad de los hombres, que nunca fían en las cosas nuevas hasta que ven sus frutos ñ.

El Príncipe. Nicolás Macchiavello



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Javier Vásquez Morera, con cédula de identidad 203510176, en mi condición de autor del TFG titulado "MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES EN COSTA RICA"

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI ☒ NO ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Javier Vásquez Morera

Número de Carné: 782912 Número de cédula: 203510176

Correo Electrónico: javier.vasquez@ucr.ac.cr

Fecha: 24 de setiembre de 2019 Número de teléfono: 8880-7248

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): M.Sc. Juan Carazo Salas


FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1. Introducción

La presente investigación se centra en desarrollo de estrategias y herramientas que incentiven al ciudadano común a incorporarse en equipos inter disciplinarios para el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales y el análisis de sus datos, de manera tal que se coadyuve a mejorar la calidad de dichas aguas, manejadas estas como un activo ecológico transfronterizo.

La posibilidad de realizar la carga masiva de datos pre existentes y generados mediante rigurosas pruebas de laboratorio, o la de hacer el ingreso individual de datos, obtenidos mediante pruebas rápidas con una sensibilidad reducida, hizo que en esta investigación se le diera especial relevancia a la necesidad de lograr la trazabilidad de los datos, de manera tal que la información que a partir de estos se pueda generar, no comprometa el nivel de calidad deseado.

El presente trabajo se ha estructurado en 4 capítulos: una **introducción**, donde se describe el tema de esta investigación, su justificación y se proponen los objetivos de la presente investigación, un **marco teórico** donde se desglosan conceptos acerca de ciencia ciudadana, algunos de sus logros y requerimientos, así como se contemplan algunas experiencias llevadas a cabo en el campo internacional para medir la calidad de las aguas superficiales. Al final de este segundo capítulo se presentan los lineamientos usados por el gobierno de Costa Rica para tal propósito. En la **metodología**, se presentan las estrategias usadas para alcanzar los objetivos, se describe la realización de talleres y el uso de un área piloto en el ensayo, algunas de las estrategias seguidas para la implementación, así como se da también una evaluación de los artefactos generados. En el apartado sobre **discusión, resultados y**

conclusiones se presenta un desglose de los principales logros, que contemplan la validación de los productos y la verificación del proceso llevado a cabo como parte de la metodología. Al final de ese apartado se describen las principales conclusiones y se sugieren posibles trabajos derivados del actual. Los resultados concretos, se presentan con mayor detalle en los anexos.

1.1.Planteamiento del problema

1.1.1. Importancia de monitoreo del agua

Este trabajo se sustenta en el llamado que hacen diversas instituciones nacionales e internacionales para la protección del agua, así por ejemplo, las Naciones Unidas aboga por la protección del agua al ser esta un derecho humano (United Nations, 1977); (World Health Organization, 2003), la Organización Mundial de la Salud plantea el cuidado del agua, por considerarse ésta el origen de alrededor del 80% de las enfermedades en el mundo (Annan, 2003; UNEP, 2016 b), y el Banco Mundial motiva al cuidado de las fuentes de agua como fuente de riqueza para quienes la cuidan y preservan (World Bank, 2013). También resulta interesante el llamado que hizo Naciones Unidas en la cumbre de Dublín, para realizar el monitoreo del agua apoyado en la ciudadanía (Solanes et al, 1999).

Según datos de Naciones Unidas (UNESCO, 2016) el agua fresca corresponde al 2.5% de toda el agua disponible sobre la tierra en sus diferentes estados: líquido, sólido y gaseoso. De ese 2.5% que además está en proceso de reducción -debido entre otras cosas al cambio climático-, las reservas de agua en forma sólida en el 2016 representaron un 68.7%, otro 29.9% correspondió a reservorios subterráneos de agua y solo un 0.26% representaba el agua fresca almacenada en lagos y ríos.

De los datos anteriores se tiene que solo el 0,65% del agua en el mundo corresponde a agua

fresca almacenada en lagos o fluyendo por ríos. De estas escasas reservas proviene el agua, tanto para el consumo humano como para el uso en la agricultura y a estas fuentes, se devuelven las aguas vertidas con una calidad cada vez más degradada.

En Costa Rica (CR) el volumen anual de lluvia se estima en 173Km³ de agua, mientras que la demanda promedio anual en agua potable para la población se estima en 0,54Km³ (OPS, 2003). Tales datos podrían hacer pensar que en CR no se tienen problemas por carencia de recurso hídrico. La realidad indica que los problemas locales por el agua, son cada vez más frecuentes y diversos. El Programa Estado de La Nación del 2019, expone que en el último decenio se han producido 134 conflictos sociales por acceso al agua, su uso o su contaminación (Semanario Universidad, 2019).

Por ejemplo, en CR la gestión del agua se hace de manera sectorial, interesándose cada entidad principalmente por la disponibilidad del agua, pero no necesariamente por la mejora de la calidad de las aguas. Se citan acá algunos ejemplos:

- agua para generación eléctrica: en este subsector participan el ICE, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, la Dirección Sectorial de Energía, Generadores Privados, algunas Cooperativas, Empresas Municipales y Cogeneradores (ICEX, 2011).
- agua para su uso agrícola: acá participan el Ministerio de Agricultura, la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía, el Servicio Nacional de Avenamiento y Riesgo de Aguas, las Municipalidades y las ASADAS
- agua para su uso en actividades recreativas: corresponde al Ministerio de Salud y al Ministerio de Turismo

Otras entidades costarricenses que si se preocupan principalmente por la calidad de las aguas para el consumo humano son: el Ministerio de Salud, Acueductos y Alcantarillados, las Municipalidades, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH S.A.), los Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAARs), las Asociaciones Administradoras de

Acueductos y Alcantarillados Rurales (ASADAS) y algunas organizaciones privadas menores que operan acueductos o sistemas individuales (en general pozos excavados o nacientes) (Oficina Panamericana de Salud, 2003).

Además de las entidades reguladoras y monitoreadoras del uso del agua, otras instituciones también desarrollan proyectos de monitoreo del cauce o de la calidad de las aguas, por ejemplo:

- Laboratorio Nacional de Agua del Instituto de Acueductos y Alcantarillados
- Laboratorio de Calidad de Aguas de la UCR
- Laboratorio de Agua Potable y Superficial del Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos del ITCR
- Centro de Investigaciones en Calidad del Agua de la UCR
- Laboratorio Nacional para el Manejo del Recurso Hídrico de la UNA
- Centro de Investigaciones en Estudios para el Desarrollo Sostenible de la UCR
- Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA
- Laboratorio de Análisis y Servicios Químicos de la UNA

En un análisis de la situación actual y las perspectivas de la calidad del agua potable en Costa Rica, realizado por la OPS, se indicó:

Como parte de las debilidades del sector en el área de la gestión de los servicios, se consignó en el Análisis Sectorial, la ausencia de un sistema constante e integral de control y vigilancia de la calidad del agua potable en el ámbito nacional (Oficina Panamericana de Salud, 2003, pag 5).

Dicha segmentación en el estudio situacional de las aguas superficiales ha dificultado contar con un inventario que permita planificar de mejor manera la protección de dichas fuentes, ya que en CR gran parte de las aguas son vertidas sin tratamiento y llegan a reunirse con las aguas superficiales, así como con las reservas subterráneas, lo que representa una seria

amenaza, por ejemplo Brans et al (1997) plantean que en el mediano plazo a nivel mundial se van a dar problemas económicos, de desarrollo y de bienestar social asociados con la escasez de agua fresca, de los cuales CR no estaría excluida.

A nivel internacional Naciones Unidas comenzó a preocuparse realmente por el problema de la contaminación de las fuentes de agua dulce a partir de los años 70s, momento desde el cual -con su apoyo- se ha venido creando una red de entidades colaboradoras para la gestión integrada del recurso hídrico, entre cuyos logros se destacan la realización de algunas conferencias, ej. la Conferencia del Ambiente de 1972 realizada en Estocolmo (UN, 1972), La Conferencia del Mar del Plata de 1977 realizada en Argentina (UN, 1977), la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo llevada a cabo en Dublín en 1992 (UN, 1992) y finalmente la Conferencia Agenda 21 (UN, 1992b), cuyo capítulo 18 contempla la "Protección de la Calidad y Suministro de recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el Desarrollo, Gestión y Uso de los Recursos Hídricos". Paralelo a lo anterior, a finales de los 90s se comenzó la discusión acerca de mecanismos para modificar la administración de las políticas rurales, particularmente Thurman y McGarrell (2015) estudiaron entre otras consideraciones las consultas ciudadanas, los grupos focales, la organización y la administración de las políticas comunitarias, todo ello con el afán de incorporar a la ciudadanía en la búsqueda de soluciones al problema del agua, por cuanto, tanto factores antropogénicos como naturales amenazan las fuentes de agua fresca, usadas para el consumo humano o para mantener la biodiversidad de los ecosistemas. Al respecto, Vörösmarty et al (2010a) llegaron a la muy preocupante conclusión de que:

El patrón mundial de amenazas a los ríos documentado aquí, ofrece la explicación más completa hasta la fecha de por qué se considera que la biodiversidad de agua dulce se encuentra en un estado de crisis³⁸⁻⁴¹. Las estimaciones sugieren que al menos 10,000 - 20,000 especies de agua dulce están extintas o en riesgo^{8,42}, con tasas de pérdida que compiten con las de las transiciones anteriores entre épocas geológicas, como del Pleistoceno al Holoceno⁴³.

Como parte del trabajo de Vörösmarty et al (2010b) se gestaron un conjunto de mapas sobre el estado de las amenazas a las fuentes de agua, uno de ellos se muestra en la Figura 1, donde se visualiza:

- La gran correlación que existe entre las amenazas a la biodiversidad y al agua para consumo humano.
- La calificación a nivel mundial de dichas amenazas. Acorde con la coloración asignada, el caso de Costa Rica se percibe desde afuera como poco afectado, pero que a nivel interno lo percibimos de manera más preocupante.

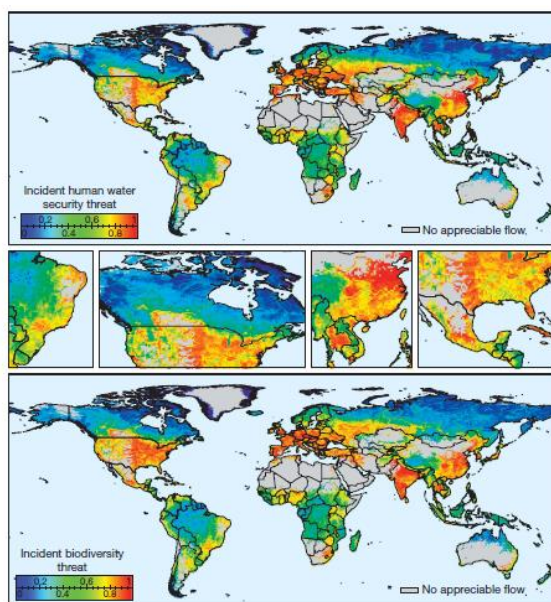


Figure 1 | Global geography of incident threat to human water security and biodiversity. The maps demonstrate pandemic impacts on both human water security and biodiversity and are highly coherent, although not identical (biodiversity threat = $0.964 \times \text{human water security threat} + 0.018$; $r = 0.97$, $P < 0.001$). Spatial correlations among input drivers (stressors) varied, but were generally moderate (mean $|r| = 0.34$; $n = 253$ comparisons). Regional maps exemplify main classes of human water security threat (see main text and Supplementary Fig. 4). Spatial patterns proved robust in a variety of sensitivity tests (Supplementary Methods and Supplementary Discussion). Threat indices are relative and normalized over discharging landmass.

Figura 1 Amenazas globales a la seguridad del agua potable y a la biodiversidad.

En el trabajo de Vörösmarty et al, las amenazas a la biodiversidad se aprecian más graves que las amenazas a la seguridad del agua para consumo humano, aún y así, el índice de correlación derivado de dicho estudio, asocia las amenazas a las fuentes de agua para consumo humano con las fuentes de agua fresca para los ecosistemas ($r=0.97$ con $p=0.001$), de ahí que todo aquello que se haga por proteger las fuentes de agua fresca para los

ecosistemas, impactará positivamente en la protección de las fuentes de agua fresca para el consumo humano casi en medida similar.

La anterior conclusión es de gran valor, por cuanto para monitorear la calidad del agua en ecosistemas, se usan kits que controlan de 4 a 8 parámetros, pero para monitorear la calidad del agua para consumo humano se consideran múltiples parámetros que controlan las amenazas a su calidad usando comúnmente entre 22 y 25 parámetros. Mientras que los primeros kits son de uso popular, los segundos son de uso exclusivo para laboratorios; cabría entonces decir que, a pesar de tener los análisis profesionales de la calidad del agua una mayor precisión, aquellos informales que hacen grupos de voluntarios, no tienen en sí un fin de toma de decisiones, sino el de inferir el grado de las amenazas a las fuentes locales de agua para consumo humano y el de motivar a la formación en temas ambientales. En cualquier caso, es muy importante que el kit usado apoye los controles establecidos en la legislación.

1.2. Justificación

La justificación del trabajo presente se enfoca en tres ejes: el eje cultural que contempla la responsabilidad que deben tener las personas en el cuidado de la calidad de las aguas superficiales, el eje de la usabilidad que poseen los kits de bajo costo y el eje tecnológico que garantiza la labor conjunta de profesionales en distintas disciplinas interesados en mejorar la calidad de las aguas superficiales y por ende, en mejorar la calidad de vida de las especies biológicas que usan dicha agua, particularmente de los seres humanos que las aprovechan con distintos propósitos, así pues:

- ñA pesar de la holgura en la disponibilidad de agua, las deficiencias de la administración nacional y local del recurso han afectado tanto el estado de las aguas subterráneas y superficiales como la calidad del agua suministrada por acueducto. La

creciente vulnerabilidad de los acueductos, particularmente en la GAM, constituye una de las principales amenazas de la salud de los costarricenses. Este deterioro se debe a un marco institucional disperso en una gran cantidad de entes, en la práctica desarticulados, que dan lugar a problemas de traslape de competencias, vacíos y duplicación de funciones (OPS, 2003, pág. 13).

- Aparentemente, el que la sociedad haya delegado el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en profesionales, no ha evidenciado ningún tipo de mejora en el estado de estas, sino que día a día se perciben mayores agravantes en la calidad del agua en los ríos (aunque esto no se debe atribuir a quienes monitorean, sino a que el ciudadano común ha venido evadiendo la responsabilidad que su actuar tiene sobre dicha calidad, por lo que este trabajo fomenta un cambio de estrategia, a decir, brindar herramientas digitales, para lograr que un mayor grupo de voluntarios se involucren tanto en el monitoreo, como en la mitigación de los problemas de contaminación asociados con las aguas superficiales.
- La evidente contaminación de las fuentes superficiales de agua en CR, se ventila en la prensa y en los tribunales cada vez más frecuentemente (Calvo y Mora, 2012; Calvo, 2015; Semanario Universidad, 2019). Problemas sanitarios en diversas comunidades se han compartido en la prensa y uno de ellos tuvo que llegar inclusive a discutirse en un tribunal internacional de Justicia, lo que evidencia diversos fallos en la gestión del agua (López, 2013).
- Programas de ciencia ciudadana para el monitoreo de agua que se han realizado a nivel internacional, se han basado en la recolección de muestras de agua, y han dejado de lado el análisis, la visualización adecuada, la toma de decisiones y el compartimiento de la información que se desprende de dichos datos. Esto debido quizás a que no se han creado índices sincréticos que simplifiquen una interpretación

conjunta de los parámetros físicos, químicos y biológicos usados para medir la calidad del agua. En forma contrastante, se ha fomentado la creación de índices de calidad de agua, usados por algunos expertos y apoyados en mediciones de gran sensibilidad, lo que les ha simplificado la interpretación de dichos resultados, pero en contraposición no se conoce algún índice, para quienes usan kits de bajo costo, quizás con poca sensibilidad, a pesar de que dichos kits hayan sido ideados para aficionados, cuya formación diste de ser la de un especialista en calidad de aguas.

- El nivel de desarrollo alcanzado en aspectos tecnológicos asociados con el manejo de grandes volúmenes de datos, la geo referenciación, el compartimiento de datos de distinta sensibilidad, quizás hasta de diferente calidad, propuestos por diversidad de personas, así como el despliegue espacial de resultados en mapas universales son un importante insumo para el análisis compartido de la salud de los ríos, así como un magnífico punto de encuentro de diversas disciplinas que colaboran para mejorar la salud pública mediante la unificación de esfuerzos.
- Hasta inicios del año 2019 no se ha contado en CR con un inventario público y actualizado de calidad aguas, con el agravante de que entre más se postergue la creación de dicho inventario, menores serán las reservas locales de agua fresca, mayor la contaminación en ríos y lagos, y mayores serán los costos en que habría que incurrirse para sanear dichas fuentes.

Dado que las facilidades tecnológicas actuales posibilitan que los datos acerca de la evaluación del monitoreo de las aguas superficiales en CR se muestren sobre un mapa, se ha ideado la creación de un inventario de la calidad de las aguas en todo el país, que en el mediano plazo permita brindar a la población costarricense un atlas digital de calidad del agua. Para la confección y el mantenimiento de este inventario, se sabe que se requiere de un gran esfuerzo colaborativo (colegiales, miembros de municipalidades, miembros de grupos

ambientalistas, ciudadanos interesados en la problemática del agua, miembros de asociaciones de desarrollo, académicos y otros), así como de la disposición de suficientes recursos, como por ejemplo: tecnologías apropiadas, recursos monetarios, recursos de personal y de tiempo. Es por ello que se ha incorporado la ciencia ciudadana como parte estratégica de este estudio, buscando con esto:

1. contar con una gran cantidad de voluntarios para la recolección de datos,
2. realizar monitoreos incrementales en tiempo y espacio en diversos cuerpos de agua,
3. incorporar a los ciudadanos en la financiación de una investigación de interés público,
4. empoderar a las personas en el control de la calidad de las aguas de su localidad y
5. sensibilizar a las comunidades sobre la administración de un bien común,

1.3.Preguntas de Investigación

Al inicio de este trabajo, al investigador le interesó particularmente, ¿qué información se requiere dar como retroalimentación a los voluntarios que participen de un programa de monitoreo de aguas para motivarlos a seguir colaborando y que se sientan empoderados para proponer acciones de mitigación de los efectos nocivos sobre la calidad del agua fresca de su localidad?

Esta pregunta se replanteó desde diversas aristas.

Técnica: ¿Qué nivel de soporte dan las TICs para registrar la contaminación / depuración de los cuerpos superficiales de agua en CR?

¿En qué medida es sostenible apoyar una labor de monitoreo, en individuos no remunerados, que serían los encargados de realizar dicha labor?

Económica: ¿cuáles serían los costos recurrentes asociados para el análisis de la calidad de las aguas superficiales que deberían ser financiados por la ciudadanía?

Legal: ¿de qué manera pueden usarse los resultados del muestreo, que es realizado por personas con poca experiencia en investigación, como si tales datos tuvieran el nivel de precisión requerido? y ¿cuáles recomendaciones serían necesarias antes de tomar decisiones legales apoyándose en tales datos?

Social: ¿qué tipo de conocimientos puede extraer una comunidad, de un exhaustivo banco de datos acerca del comportamiento de la contaminación de sus cuerpos locales de agua?

Gestión: ¿cómo se puede aprovechar un atlas de calidad de aguas para mejorar la gestión de este recurso?

1.4.Objetivos: general y específicos

Teniendo definidas las interrogantes de interés, se establecieron los siguientes objetivos.

1.4.1. General

Diseñar, implementar y ensayar un sistema computacional que permita el monitoreo del estado de los cuerpos superficiales del agua fresca en Costa Rica mediante el desarrollo de una red de colaboración que contemple la ciencia ciudadana.

1.4.2. Específicos

1. Ofrecer una herramienta tecnológica que permita registrar, procesar y visualizar datos sobre la calidad del agua en aquellos cuerpos de agua que estén siendo monitoreados.
2. Involucrar en el monitoreo, registro, análisis de datos y distribución de resultados del comportamiento de la calidad en los cuerpos superficiales de agua fresca a grupos organizados, para que realicen su labor de forma sistemática.
3. Facilitar la participación de grupos organizados para la toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico.

2. Marco teórico

Como parte del marco teórico, se han considerado de especial relevancia, aquellas publicaciones respecto al marco legal costarricense para la clasificación de la calidad en las fuentes superficiales, la relación que se tiene entre la calidad del agua y la salud humana, los parámetros usados a nivel internacional para categorizar grados de calidad del agua dulce, así como algunos de los distintos índices que se ha desarrollado para ayudar a su gestión. Finalmente se ha incluido una revisión sobre los aportes de la ciencia ciudadana al monitoreo del agua.

2.1. Legislación nacional para la protección de las aguas superficiales

En Costa Rica son varias las leyes que se tienen para proteger las aguas, algunas leyes regulan el vertido de materiales en los ríos, otras la gestión de cuencas, otras el uso del agua, en este trabajo el interés se centra en la Ley de aguas.

2.1.1. Ley de aguas

La Ley de Aguas vigente en Costa Rica al 2018 es la #276 que data del año 1942, de ahí que carezca de múltiples conceptos y que no sea del agrado del sector gubernamental, ya que los cánones para la protección o el aprovechamiento del agua son arcaicos e inútiles, ej. cobrar un colón¹ por aprovechar cada 10 litros de agua a concederse (Sección 2, art 169). Acorde con el Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE, 2006), este canon se modificó en el reglamento 32868 del año 2006, fijándose un monto según el uso de agua, que va desde 0,12 colones por metro cúbico para actividades acuícolas e hidráulicas, hasta 2,64 colones por metro cúbico para actividades turísticas, es decir, se fija un precio inferior a

¹ 0,2 centavos de USD por 10 litro de agua al cambio en set 2017.

0,0045 dólares por metro cúbico de agua, que equivale a un precio inferior a 0,5 USD por cada 100m³, comparativamente a nivel internacional el precio de 100 m³ de agua es de 250 euros, en Dinamarca es superior a los 800 euros, en Argel es de 7 euros (Olmos, 2018).

De la ley #276 se rescatan para los efectos de esta investigación el artículo 13 que contempla la protección de la pureza de las aguas y que limita el uso de la misma a efecto de proteger dicha pureza, el artículo 14 que prohíbe enfáticamente el envenenamiento del agua y el artículo 32 que concede al estado el derecho de otorgar un uso particular a la tierra alrededor de las fuentes de agua, cuando se busque con ello proteger la pureza de la misma.

A pesar de las deficiencias presentes en la ley 276, diversos intereses minaron la posibilidad de tener una mejor ley de aguas, hasta que a finales de 2017 se aprobó en primer debate el proyecto de Ley de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (Proyecto de Ley Número 17.742), que vendría a fortalecer la participación ciudadana tanto en la gestión, como en el monitoreo del agua. (Asamblea Legislativa, 2017).

Un componente vital de esta legislación, es el contraste de las evidencias recolectadas que puede hacerse con los reglamentos, lo que se entiende como *Gold Standard*, que se describe a continuación.

2.1.2. *Gold Standard* de calidad de agua en Costa Rica

La calidad físico-química del agua en Costa Rica, se regula a partir de las directrices especificadas en dos reglamentos de ley:

1. el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, #32327-S (MS, 2005)
2. el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, # 33903-MINAE-S (MINAE, 2007 b)

El primero de ambos reglamentos trata acerca del agua potable y fija procesos de desinfección, así como establece valores máximos y mínimos permitidos y vigilados en 4 niveles de control del agua potable, así entre mayor sea el nivel de vigilancia, mayor es también el conjunto de parámetros a considerar.

El segundo reglamento controla los derechos que las personas físicas y jurídicas- pueden obtener sobre las fuentes de agua, protege la vida asociada con el agua, así como define los valores máximos admisibles de metales y otros contaminantes en el agua acorde al uso que se desee hacer de la misma, lo que a la postre ayuda a mejorar la salud de la población, de ahí que será con base en este decreto que se va a crear la aplicación a usar.

2.2. Relación entre la calidad del agua y la salud

Los objetivos del milenio planteados por Naciones Unidas (2015) dependen en gran medida en el acceso al agua potable, ya que el acceso a ésta es el responsable de algunas inequidades entre las personas, por ejemplo, que algunas civilizaciones deban recorrer varias horas cada día para llegar hasta las fuentes de agua, que en su mayoría sean mujeres y niños quienes deban realizar dicha labor o que la calidad del agua enferme o cause inclusive la muerte a poblaciones vulnerables.

Como se indicó, Naciones Unidas planteó 8 objetivos para el desarrollo sostenible, que deberían alcanzarse entre el año 2015 y el 2030. Dichos objetivos son:

Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre

Objetivo 2: Lograr la enseñanza primaria universal

Objetivo 3: Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer

Objetivo 4: Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años

Objetivo 5: Mejorar la salud materna

Objetivo 6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades

Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente

Objetivo 8: Fomentar una alianza mundial para el desarrollo

Como se ha dicho, estos objetivos buscan entre otras cosas eliminar la pobreza extrema, las desigualdades entre géneros, así como entre habitantes de diversos países o entre habitantes de zonas rurales y zonas urbanas, en fin, reducir algunas diferencias ominosas entre seres humanos. La estrategia de desarrollo planteada por Naciones Unidas propone que, para la generación de políticas públicas que potencien el desarrollo, se debe colaborar para la generación de datos compartidos. Específicamente Naciones Unidas (2015, pag 10) también estableció que

“Mientras se establece la agenda para el desarrollo después de 2015, se reconoce cada vez más, que consolidar la generación de datos y el uso de información de calidad en la formulación de políticas y el monitoreo, son medios fundamentales para el desarrollo”.

Por su parte Diamandis (2012) alejándose de la perspectiva de un futuro incierto que enfrenta la sociedad y la naturaleza, perfila el futuro de la humanidad de manera muy esperanzadora. Según él, para que los seres humanos logren este desarrollo próspero pero sostenible, se debe velar por el aseguramiento de la pirámide de la abundancia, según se muestra en la figura 2.

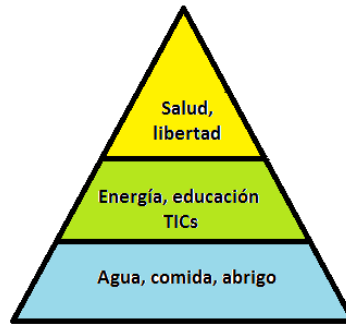


Figura 2. Pirámide de la abundancia de Diamandis

En el nivel superior de esta pirámide se aspira a que todo ser humano goce del mayor bienestar posible, reflejado en gozar de buena salud y en tener libertad cotidiana. Previo a este nivel, en el nivel intermedio, conceptualizado como un motor del desarrollo, se debe garantizar que las diversas personas tengan acceso a fuentes limpias de energía, a una educación de calidad y a las tecnologías de la información y las comunicaciones adecuadas. Para Diamandis este trío de elementos posee doble funcionalidad: en el corto plazo incrementan los patrones de vida y en el largo plazo, abren camino a los dos mayores creadores de la abundancia: el intercambio y la especialización. En el nivel inferior de esta pirámide, soportando todo este desarrollo, se hallan, además de las garantías alimentarias para cada persona, la protección de éstas y en un lugar primordial, el acceso al agua potable y al saneamiento. Para Diamandis, este acceso al agua debe contemplar al menos entre 3-5 litros al día por persona, para garantizarles su subsistencia y otros 25 adicionales para usarse en aseo personal, cocina y limpieza. El acceso a fuentes con agua de calidad es importante por cuanto actualmente más de 1,000 millones de personas no gozan de agua potable y más de 2,600 millones no cuentan con el saneamiento de las aguas residuales (muchas de estas aguas residuales se descargan sin tratar sobre las aguas superficiales, incrementando aún más su nivel de contaminación). Al considerar las enfermedades originadas en la mala calidad del agua, a nivel mundial, tan solo las enfermedades diarreicas son responsables de la muerte de 1,8 millones de niños anualmente y más del 50% de los ingresos hospitalarios en el mundo se originan en el consumo de aguas de mala calidad. Así, por ejemplo, entre el 2004 y el 2014 se repartieron en el África subsahariana más de 900 millones de mosquiteros impregnados con insecticidas para proteger a las personas contra el paludismo, evitándose en ese lapso un

estimado de 6,2 millones de muertes originadas por dicha enfermedad (Naciones Unidas, 2015).

El esquema piramidal propuesto por Diamandis coloca el agua como elemento primordial de todo el desarrollo humano, de la salud, el bienestar y la libertad de las personas, pero para alcanzar dicho desarrollo, se requiere la implementación de buenas políticas públicas (Figueroa, 2019), y para ello la participación ciudadana se torna cada día más necesaria (PNUD, 2017), de ahí que incorporar a la ciudadanía en alguna actividad del proceso de investigación, permitirá consolidar datos, mejorar la información necesaria para tomar las decisiones relevantes y apoyar una mejor toma de decisiones.

Con respecto a la relación entre agua y salud, Naciones Unidas (2012, pág 103) estableció que:

Se predice que los impulsores globales que tendrán el mayor efecto en las tasas de enfermedades a través del medio ambiente acuático son: el crecimiento de la población y la urbanización, la agricultura, la infraestructura y el cambio climático global. Las tendencias en estos factores influyen directa e indirectamente en la carga mundial de la enfermedad, en gran medida de manera adversa, y aumentan la incertidumbre general sobre la salud humana en el futuro.

El efecto que la calidad del agua ejerce sobre la salud humana es un tema que desde hace algunas décadas preocupa a diversos investigadores y organizaciones a nivel mundial, que van desde la Organización Mundial de la Salud, o el programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas, hasta la NASA y el Banco Mundial.

Según la OMS, el agua tiene relación directa con millones de muertes, enfermos y afectaciones en el mundo. En la tabla 1 se citan diversos ejemplos de esta asociación (OMS, 2004) .

Tabla 1. *Cantidad de muertes/enfermedades anuales en el mundo, relacionadas con la calidad del agua-Año 2004*

Enfermedad	Muertos anualmente
Diarrea	1,800,000
Paludismo	1,300,000
Enfermedad	Enfermos anualmente
Esquistosomiasis	160,000,000
Helmiantiasis intestinales	133,000,000
Hepatitis A	1,500,000
Arsénico	28,000,000 ÷ 35,000,000
Fluorosis dental	+26,000,000 solo en China
	Afectados últimos 10 años del siglo XX
Desastres hídricos: inundaciones y sequías	1,720,000,000

A pesar de ello, Naciones Unidas (2012) también planteó que identificar tendencias o relaciones entre la calidad del agua y la salud es extremadamente complicado dada la escasez de monitoreos y reportes de tales asociaciones.

Por su parte, el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas (UNEP, 2016 b) establece que:

1. "El agua insegura y el saneamiento deficiente causan aproximadamente el 80% de todas las enfermedades en el mundo en desarrollo. La cifra de muertos anual supera los cinco millones de personas, y más de la mitad son niños. Los contaminantes metálicos y la contaminación microbiana son serias preocupaciones en muchos cuerpos de agua en todo el mundo " (pag.4)

2. Por cada 1 USD que se invierte en mejorar la calidad del agua o el saneamiento se obtiene un retorno de la inversión en el rango de 3 a 34 USD, a pesar de ello "La capacidad de obtener ganancias de las inversiones a menudo se ve limitada por la falta de datos e información sobre la calidad de las aguas continentales. Esto significa que se requiere un mayor esfuerzo para fortalecer el monitoreo y la evaluación en muchas partes del mundo " (pag.8)

Este programa mundial de monitoreo de agua de la UNEP, registra mediciones de más de 260 cuerpos de agua, acumulando más de 2 millones de registros, provenientes de más de 2800 estaciones, cada una contemplando más de 100 parámetros.

Como parte de tal monitoreo, en la figura 3 se muestra que, en los últimos 60 años, la vertiginosa globalización del cólera está asociada con el deterioro de la calidad del agua.

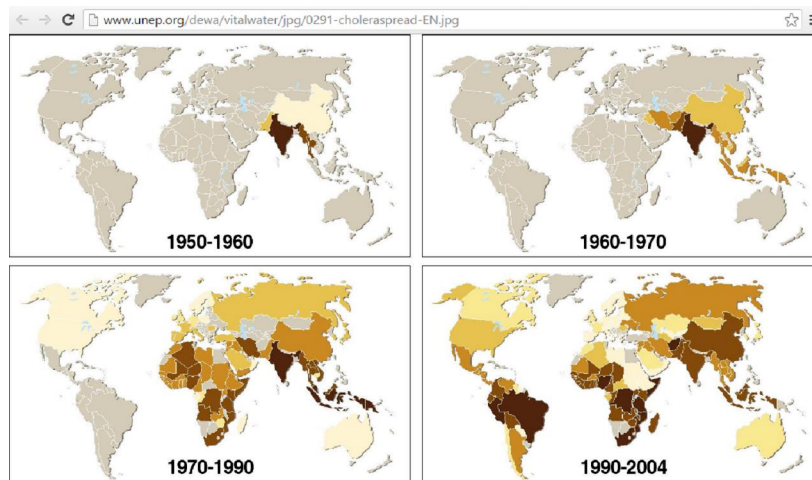


Figura 3. Avance mundial del cólera en el tiempo

Lo anterior es preocupante, entre otras razones porque según Lenzner (2011), las necesidades humanas por el agua se han disparado a un ritmo vertiginoso en comparación con el crecimiento poblacional, y porque su demanda se va a quintuplicar para el año 2050, lo que aunado a una reducción en las fuentes de agua disponible, hace prever que en el corto plazo habrá un desabastecimiento de agua que afectará a una gran parte de la población mundial. Por tal motivo, diversas instituciones han hecho un llamado hacia su uso más racional, que han denominado "nueva cultura del agua" (New Water Culture, 2015) . La misma se basa en el ahorro, la optimización en la gestión y la valoración del agua, sea como un activo social o un activo ecológico, lo que se espera genere una mayor sensibilización, que permita en última instancia un reparto más equitativo, ante un espectro de uso que se amplía cada vez más. Por ejemplo, el incremento poblacional conlleva la necesidad de una mayor producción de alimentos. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (2019), la agricultura "con un uso aproximado a un 80% del consumo del agua dulce- es el mayor usuario de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas. Para Alexandratos y Bruisma (2012) "Cualquier país que use más del 20 por ciento de sus recursos renovables para irrigación se considera que cruza el umbral de la escasez inminente de agua" (pag.12). Para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE; 2012), la demanda mundial del agua se va a incrementar en un 55% para el año 2050.

Paralelo al incremento en la demanda del agua como recurso vital para la vida, a pesar de

que su calidad debe estar normada por una serie de métricas que garantizan su inocuidad, dicha calidad se ve afectada -como ya se ha dicho- por aspectos ambientales y culturales que atentan día a día contra sus cualidades, necesarias para garantizar la vida humana. Por ejemplo, según la NASA, de los principales 37 acuíferos subterráneos en el mundo, 20% de ellos están sobre explotados, 21 se han deteriorado y solo 16 poseen las cualidades necesarias como reservas de agua para garantizar la vida humana, con el agravante de que el nivel de extracción de agua se ha venido incrementando, en Costa Rica por ejemplo, en un 1% anualmente desde finales de la década de 1980 (la extracción se ha incrementado en al menos un 35% desde esa fecha y esto en vez de mermar, se estima que se va a incrementar aún más). Asociado con ello, Astorga (2008) indicó que en año 2006 Costa Rica presentaba un déficit con respecto a los acuíferos subterráneos Barva y Colima, ya que mientras la recarga potencial se estimaba en 9,720 litros por segundo, la extracción por medio de pozos legales e ilegales se estimaba en 9,870 litros por segundo y la misma en vez de nivelarse, se ha venido agravando cada vez más.

Desde el punto de vista sanitario, además de los problemas relacionados con vectores asociados con aguas limpias que transmiten el dengue, chikungunya y sika, se suman otros problemas relacionados con la contaminación del agua, ej. diarreas y hepatitis; así también, Ahuja (2013) plantea que a nivel mundial mueren anualmente unos 5 millones de personas ï principalmente niños- debido a problemas asociados con impurezas en el agua. Este autor estima que 1,200 millones de personas carecen anualmente de fuentes de agua pura. Según Naciones Unidas, la cifra anual va a llegar a 2,700 millones para el 2025. Para Ahuja el monitoreo de contaminantes en las fuentes de agua es complejo, porque muchos de estos contaminantes se usan para mejorar la calidad de vida de las personas, ej. combustibles, detergentes, desinfectantes, medicamentos, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc. Por ejemplo, hablando sobre el arsénico generado por la naturaleza alrededor de vetas volcánicas y usado en la minería para la extracción de oro, Ahuja menciona que unas 10 partes de éste por cada mil millones de partes de agua ya son dañinas para el ser humano y que anualmente más de 200 millones de personas a nivel mundial sufren este problema. En CR este hecho cobró relevancia durante el 2013, cuando se evidenció que más 11,000 personas tomaban agua con arsénico en Guanacaste y San Carlos (López, 2013). En estas zonas se ha dado un

incremento en la incidencia de pacientes con insuficiencia renal crónica, pero un estudio realizado por la CCSS para identificar los determinantes de este mal no evaluó causas ambientales (Ramírez, 2013), de ahí que aún no pueda decirse si hay o no relación entre ambos.

En términos generales, el problema del incremento en la demanda de agua se ha visto agravado debido a la contaminación de las fuentes de agua dulce, siendo así que la acción tanto humana, como de la naturaleza, amenazan con extinguir nuestras reservas de agua. Por ejemplo, las Naciones Unidas reportan que, en tan solo 40 años, las reservas del lago Chad se han reducido en un 95% (UNEP, 2008) y recientemente la NASA informó que el lago Puzhal en India se secó entre el 2018 y el 2019, al igual que pasó con otros 5 de 16 reservorios de agua en el estado de Maharashtra, afectando con esto a una población cercana a nueve millones de personas (NASA, 2019).

Al depender toda forma de vida del agua, y dado que se asume que los estados no cumplen con sus obligaciones respecto al cuidado del agua, según Serrano (2013), se han propuesto iniciativas de tipo *ñlege ferenda*², que, sin tener bases jurídicas vinculantes, están organizando a las comunidades para el auto cuidado del agua. Entre otras iniciativas, se ha comenzado a usar la ciencia ciudadana para monitorear el estado de dichas fuentes. Michaud (1991) establece que el monitoreo de cuerpos de agua realizado por estudiantes, además de su carácter educativo, ayuda a recoger información muy importante, sobre todo si la misma se monitorea año tras año.

Al monitorear la calidad del agua, la interrogante de cuáles parámetros evaluar o cómo medirlos, es un problema aún abierto. Jauzein citado en Colin (1997) explora el uso de técnicas informáticas para el análisis físico químico del agua. Según él, las relaciones son difíciles de identificar. En el mercado se consiguen kits de sensores con capacidad de calcular

² Expresión empleada en el campo jurídico para indicar que, aunque no hay una ley que lo apoye, hace referencia a algo que es deseado.

el valor ñin situò de unas cuantas variables, lo que podría simplificar la discriminación de algunas de ellas. El enfoque de calidad de agua que se tenga, así como el interés internacional por contar con métricas contrastables, ha generado la aparición de múltiples índices, lo que ha conducido a una des estandarización con respecto a ¿qué se debe medir? o ¿contra qué se debe comparar?, pero en un nivel genérico se ha determinado como de vital importancia monitorear ñ entre otras variables- la acidez, el oxígeno disuelto y la temperatura del agua, así como la disponibilidad de agua fresca, su ubicación y su comportamiento tanto espacial como temporal (Bhardwaj et al, 2015).

2.3. Agua de calidad

El concepto ñcalidad del aguaò depende del uso que se le pretende dar a la misma, así como a la normativa vigente usada para la valoración de ésta.

En la literatura se reconocen varias categorías de indicadores de calidad de agua, no tanto por la forma en que se calcula el respectivo índice, sino debido a los parámetros usados y al efecto sobre la vida que estos tengan. A nivel internacional y según su dominio se manejan diversas categorías, acá vamos a considerar 3 categorías de indicadores de calidad de agua, dos de ellas definidas por la Organización Mundial de la Salud y la tercera categoría definida por biólogos, quienes evalúan la calidad del agua como un bien ecológico. En la tabla 2 se hace un desglose de estas categorías, así como los parámetros que emplean, lo que más adelante se contrastará contra los kits usados para el monitoreo del agua que realizarán los voluntarios.

Tabla 2. *Parámetros usados según categoría del indicador de calidad del agua*

Categoría de indicador	Ejemplo de índice [Proponente]	Parámetros usados
Salud Humana Agua Potable		

Categoría de indicador	Ejemplo de índice [Proponente]	Parámetros usados
Agua saludable	Drinking Water Quality Index (DWQI) [Departamento de Ambiente, Naciones Unidas] Health Water Quality Index (HWQI) [Organización Mundial de la Salud]	Alrededor de 22 contaminantes, entre otros: Amonio, pH, cloruro, hierro, plomo, arsénico, cobre y coliformes fecales Alrededor de 25 contaminantes, entre otros cloro, cloruro de cianógenos, etc.
Aceptabilidad humana Agua aceptable	Acceptability Water Quality Index (AWQI) [Organización Mundial de la Salud]	Alrededor de 12 químicos, entre otros aluminio, amonio, cloruros, fluoruros, etc.
Bióticos	BMWP_CR [Departamento del Ambiente, Gran Bretaña Adecuación hecha para CR]	A pesar de la existencia de un estándar de facto (BMWP), no existe normativa al respecto, algunos índices usan de 4 a 8 parámetros para evaluar, podría contemplar pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales, conductividad

La ambigüedad que conlleva el concepto calidad de agua, permite entre otras acepciones- hablar de calidad del agua para la vida, calidad del agua para la producción agrícola, calidad del agua para la naturaleza. Para cada uno de estos ámbitos se determina un concepto de calidad que puede diferir parcialmente uno de otro (UNEP, 2008).

En la legislación costarricense (MINAE, 2007 b) se ha tenido el cuidado de considerar diversos usos posibles del agua, y para cada uno de estos usos, se han determinado 5 posibles categorías acorde con la calidad de la misma. Para cada categoría, la calidad del agua se controla mediante la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos y acorde con dicha calidad- se definen las medidas elementales de tratamiento requeridas para su aprovechamiento.

Independientemente del uso del agua que se tenga, cada vez que el ser humano hace uso de la misma, la afecta en mayor o menor medida, y dado que la calidad del agua se correlaciona directamente con la biodiversidad, se tiene que toda degradación en la calidad del agua, conduce a una pérdida en la biodiversidad y que por ende genere una amenaza para la vida humana, de ahí que sea muy relevante monitorear dicha calidad.

Como ya se ha indicado, se deben realizar pruebas de tipo física, químicas y bacteriológicas para determinar la calidad del agua.

2.3.1. Pruebas físicas

Detectan propiedades percibidas a través de los sentidos (ej.: color, turbidez, olor, sabor)

Turbidez ocasionable por sólidos o materiales coloidales (ej. pastas dentales, pinturas, plásticos, leche, queso, mayonesa, gelatinas, lubricantes, espuma de afeitar, tejidos vivos) suspendidos en el agua.

La alta turbidez encarece el proceso de filtrado y si hay sólidos presentes en el agua, no se logra el efecto deseado con la cloración de tales aguas porque los patógenos se

pueden hallar encapsulados dentro de los sólidos mencionados.

Color del agua, evaluar el color sirve como un indicativo de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas.

Olor y sabor, se asocia con la presencia de organismos microscópicos en el agua, la cloración podría filtrar algunos olores, pero reforzaría otros si las aguas contienen detergentes, algas o diversos desechos.

2.3.2. Pruebas químicas

Miden la cantidad de minerales y sustancias orgánicas que afectan la calidad del agua (por ejemplo, dureza, acidez o pH, demanda biológica de oxígeno BOD), así:

pH o potencial de hidrógeno, es un indicador de la alcalinidad o la acidez relativa del agua, corresponde a la medida logarítmica de la concentración de iones de hidrógeno.

BOD o demanda biológica de oxígeno, corresponde a la cantidad de oxígeno necesitado por los micro organismos para estabilizar la descomposición de materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Según Kunz, la BOD se calcula en un lapso de 5 días, porque esta medida se originó en Inglaterra y ahí ningún cuerpo de agua tarda más de 5 días en llevar sus aguas al mar (Kunz, 2009).

Si la BOD es alta se tiene que hay menos oxígeno para soportar la vida.

2.3.3. Pruebas bacteriológicas

Miden la presencia o no de patógenos intestinales ej. coliformes fecales.

A pesar de las recomendaciones de la OMS para medir la calidad del agua (FAO, 2016), la carencia de experticia, los equipos, su calibración y la necesidad del entrenamiento adecuado, hacen que solo se vayan a medir aquellos previstos en el tipo de kit a usar.

2.4. Estimación de la calidad de las aguas superficiales

La calidad del agua es un fenómeno multivariable, que depende de las normativas locales, el

uso propuesto de las aguas y el índice empleado para medir su calidad; según Landwehr (1979), si se omiten los esquemas sapróbicos de clasificación, se pueden identificar 3 tipos de índices:

1. funciones de transformación de variables, que no dependen de la normativa vigente. Miden el deterioro o mejora, mediante el cambio en las variables contempladas en el índice. Por ejemplo se cita el índice de Horton[1965], el de Brown et al [1970], el de McClelland et al [1973], el de Dunnette [1979]
2. funciones de transformación de variables, que dependen de la normativa vigente según el uso propuesto del agua y que contemplan algún tipo de contabilización de las violaciones a los estándares vigentes. Por ejemplo, el índice de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que cuenta el número de parámetros que se alejan del estándar o el número de mediciones que se realizan en un mismo punto de muestreo por año.
3. funciones que no requieren transformación del valor de las variables y que se basan en coeficientes calculados mediante técnicas estadísticas, sean Análisis de Componentes Principales, análisis factorial o análisis para estimar un ranking multivariable.

Acorde con Bhargava (1983) algunas de las variables relevantes de monitorear, asociadas con el uso del agua se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Variables monitoreables según tipo de uso del agua

Uso	Variables
Nadar y bañarse	Turbidez, DBO, OD, Nitrógeno amoniacal, CF
Consumo humano	Turbidez, DBO, OD, choros, CF
Agricultura	Sólidos Suspendidos totales, cloro, boro, radio de sodio
Industria	Turbidez, Sólidos Suspendidos totales, dureza
Piscicultura, vida silvestre, andar en bote, recreación sin contacto	Temperatura, DBO, OD y cloro

Para estimar la calidad de las aguas superficiales es común:

- **Usar técnicas de laboratorio**, que se orientan a generar mediciones dentro de rangos de sensibilidad pre definidos. Estas técnicas requieren profesionales, técnicos, instrumentos, materiales y métodos calificados. Los resultados que emiten poseen gran calidad; normalmente se requieren varios días para el procesamiento de las muestras y el costo de las pruebas es proporcional a la sensibilidad requerida.
- **Usar técnicas in situ**, que se orientan a la medición ágil de variables físico-químicas. Posibilita la inclusión de personas sin estudios previos en este campo, luego de ser capacitadas, omite el uso de instrumentos costosos, pero enranga los resultados en mediciones más burdas, que pueden servir a diferentes propósitos: por un lado, pueden incentivar la inclusión de voluntarios en el proceso de monitoreo y en la rehabilitación de los cuerpos de agua, por otro lado, sirven como indicador ágil del estado momentáneo de dichas aguas.

2.5. Índice de calidad de agua

En vista de que para realizar una adecuada interpretación de cada parámetro se requiere una formación particular, ya desde los años 70s se pensó en la necesidad de combinar el valor de varios de estos parámetros en uno solo, que, respetando la importancia e incidencia de ellos en las aguas locales, simplifique su interpretación holística, a este valor unificado se le conoce con el nombre de **índice**. Dicho índice además de sintetizar las mediciones, simplifica su comprensión e interpretación, es de simple inserción en modelos de toma de decisiones acerca de estado ecológico y es entendible para diversos tipos de personas, unas con educación formal, otras aún sin ella (Calvo, 2016).

Para la creación del índice:

1. Se seleccionan los parámetros a considerar, tal que sean acordes con la normativa a seguir.
2. Se seleccionan los cuantificadores de peso del parámetro.
3. Se normalizan los valores a una escala sin tipo de unidad.
4. Se calcula la agrupación del valor normalizado observado de cada parámetro, multiplicado por el peso del mismo.
5. Se normaliza el resultado obtenido.
6. Se transforma el valor a algún indicativo de fácil interpretación.

De lo dicho anteriormente, se tiene que la forma en que se define el índice admite diversos tipos de sesgos, de ahí que el resultado generado en el índice de calidad, deba manejarse con mucho cuidado. Comúnmente la síntesis de valores se puede realizar de 3 maneras diferentes: a través de modelos algebraicos, probabilísticos, o de lógica difusa (Abbasi, 2012).

Para cada una de las tres maneras de generar el índice de calidad del agua, se define un modo para considerar de manera resumida el peso relativo y la presencia de parámetros físico-químicos o de aspectos biológicos en un cuerpo de agua, y contrastarlo contra un rango normal de valores pre establecidos (Abbasi, 2011; Abbasi, 2012). Comúnmente para facilitar

su interpretación, el índice de calidad de agua se transforma en una escala de 5 o 6 colores predefinidos.

2.6. Formas conocidas para calcular este índice

Horton (1965) propuso un índice para medir la calidad del agua, que usando un conjunto de variables (parámetros), transforma dicho valor a una escala independiente de las unidades del valor original y luego, usando una función de agregación ponderada de tales valores, genera al final un valor sintético que se espera describa la calidad de la fuente de agua muestreada. Con base en el trabajo pionero de Horton, a partir de los 70s se han estudiado y propuesto diversos índices de calidad del agua. A la fecha, se conocen más de 50 de estos índices, y como ya se ha dicho, algunos de ellos son algebraicos, otros probabilísticos y los otros difusos.

Sin importar cuál de estos métodos se use, la literatura describe al menos 2 categorías de parámetros para hacerlo: los físico-químicos y los biológicos.

2.6.1. Índices físico-químicos.

Son los pioneros en el campo de la evaluación de la calidad del agua, se usan desde mediados de los 60s. Algunos contemplan entre sus parámetros, la acidez, el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, la turbidez, la dureza, los sólidos totales, el nitrógeno, el fósforo y algunos metales (Abbasi, 2011). Los índices físico-químicos abstraen matemáticamente las observaciones llevadas a cabo en las pruebas físicas o químicas.

Como parte de este trabajo, entre los índices físico-químicos, se seleccionan 2 por su relevancia y uso difundido, también se menciona una propuesta novedosa en el contexto

nacional actual, la que, sin cambiar el índice, ajusta el peso relativo de sus parámetros (Calvo, 2015).

2.6.2. Índices bióticos.

Además de los índices físico-químicos se usan índices bióticos, para complementar la medición de la calidad del agua en ríos, que parten de la noción de ñintegridad biológicaò, definida originalmente por Frey (1975) como ñ...la capacidad de apoyar y mantener una comunidad equilibrada, integrada y adaptativa de organismos teniendo una composición de especies, y una diversidad comparable a la de los hábitats naturalesò.

Este tipo de índices miden la respuesta biológica a estresantes del cuerpo de agua y contemplan el monitoreo ecológico o biológico de diferentes taxones de grupos de individuos muestreados, a los que se le asigna un peso según su sensibilidad a contaminantes particulares. La suma o promedio de tales pesos genera un valor asociado con la salud ecológica del cuerpo de agua (Abbasi, 2011).

Entre los grupos bióticos comúnmente muestreados se hallan los macro invertebrados, pero además se pueden muestrear diatomeas, algas, protozoarios, bacterias, macrófitos y peces. Para la fauna bentónica se acostumbra recolectar muestras e identificar el tipo al cual corresponden, usando para ello una llave de clasificación o catálogos de imágenes para la identificación del espécimen (Springer et al 2010). Algunos especímenes se asocian con agua de buena calidad y otros con agua de mala calidad, pero cada uno contribuye con un puntaje determinado, al finalizar el análisis, el puntaje se contrasta contra la norma BMWP modificada en este caso para Costa Rica, según se muestra en la tabla 4. Springer (1998) generó una tabla usada ampliamente en CR, y aunque la misma se hizo para la fauna de un río local, su simpleza ha facilitado que se use en diversos colegios e instituciones educativas para evaluar la calidad del agua en múltiples ríos, tanto dentro como fuera de Costa Rica.

Tabla 4. Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP

Nivel de calidad	Biological Monitoring Working Party para CR (BMWP)	Índice de Calidad del Agua
Agua de excelente calidad	>120	Excelente
Agua de buena calidad	101-120	Muy Bueno
Agua de contaminación moderada, eutrófica o calidad regular	61-100	Bueno
Agua contaminada, de mala calidad	36-60	Regular
Agua muy contaminada, de mala calidad	16-35	Pobre
Agua extremadamente contaminada, de muy mala calidad	<16	Muy pobre

2.6.3. Índice para agua potable WQI

Aunque este trabajo se centra en el agua como un activo ecológico, es interesante considerar los antecedentes históricos del Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP, 2016 b) creado en 1978 como un programa de monitoreo de calidad de aguas, que en el año 2000 Naciones Unidas delegó a la UNESCO para la implementación del Programa de Evaluación del Agua Mundial (World Water Assessment Programme (UN), abreviado WWAP). Desde aquel entonces se han recogido datos, pero con el paso del tiempo se ha visto que estos siguen siendo incompletos, no confiables o inconsistentes. Al respecto se indica:

ñHemos aprendido que simplemente recolectar datos no es suficiente. Debe reunirse, analizarse y convertirse en información y conocimiento, y luego compartirse ampliamente dentro y entre los países y las partes interesadas para centrar la atención en los problemas del agua en todas las escalas. Es solo cuando los datos se han recopilado y analizado que podemos comprender adecuadamente los muchos sistemas que afectan al agua (hidrológicos, socioeconómicos, financieros, institucionales y políticos por igual), que deben tenerse en cuenta en la gobernabilidad del agua ".

El WWAP identificó la enorme relevancia de tener un Índice Global de Calidad del Agua, por cuanto normaliza las mediciones, define los lineamientos para la comparación entre naciones y agencias internacionales, da un mayor sustento para un mejor análisis, así como mejora la comparación espacial y temporal, también ayuda con la subsiguiente toma de decisiones.

La presente investigación seleccionó y usó 2 índices para medir la calidad de las aguas superficiales: el Sistema Holandés y el NSF-WQI.

2.6.4. Sistema Holandés de Valoración (MINAE, 2007 b)

Este es un modelo de origen desconocido, que es usado en Costa Rica como estándar gubernamental en las instituciones públicas. Se basa en el cálculo de la puntuación asociada a 3 variables (Porcentaje de saturación de oxígeno (%), medición del oxígeno disuelto en el sitio dividido entre el oxígeno disuelto teórico (en agua limpia a presión atmosférica y la misma temperatura que en el sitio) y el nitrógeno amoniacal. La tabla 5 muestra la ponderación que se usa en este índice para los 3 parámetros usados.

Tabla 5. Puntuación asignada según el Índice Holandés

PUNTOS	PSO(%)	DBO(mg/L)	N-NH ⁴ (mg/L)
1	91-100	≤3	≤0.5
2	71-90 111-120	3.1-6.0	0.5-1.0
3	51-70 121-130	6.1-9.0	1.1-2.0
4	31-50	9.1-15	2.1-5.0
5	≤30 y >130	>15	>5.0

Con la sumatoria de puntos, se clasifica la calidad del agua y se le asigna un color para evidenciar su nivel de pureza, según se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de la calidad del agua según el Índice Holandés

Clase	Sumatoria	Color	Interpretación de la calidad del agua
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4-6	Verde	Contaminación incipiente
3	7-9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10-12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13-15	Rojo	Contaminación muy severa

Aun cuando Calvo (2015) establece que el Sistema Holandés se comporta relativamente bien, dicho índice omite las coliformes fecales en el agua, cuyo análisis debe ser fundamental dentro del contexto sanitario.

Propuesta de nuevos sub índices de calidad de aguas para Costa Rica (Calvo, 2012)

Partiendo también del hecho que los diversos índices de calidad, incluido el Holandés (IH), usan cuantificadores propios de otras latitudes, se tiene que su uso categoriza erróneamente fuentes contaminadas como si fueran más puras. Calvo propone por ende reemplazar la fórmula asociada con cada subíndice o SI por otra nueva. En el caso particular del IH, extrayendo del conjunto propuesto por Calvo, solo los 8 parámetros contemplados con los kits a usar, se resumen en la tabla 7 algunas de las recomendaciones de dicho investigador.

Tabla 7. Subíndices propuestos por Calvo para el cálculo de calidad del agua en CR

Parámetro	Autor	Fórmula
pH	Cude (2001)	$SI = 10$ para $X < 4$ $SI = +2,628e^{+0,5200X}$ para $4 \leq X < 7$ $SI = 100$ para $7 \leq X \leq 8,0$ $SI = 100e^{-0,5188(X-8)}$ para $8 < X \leq 11,0$ $SI = 10$ para $X > 11$
Turbiedad	Calvo (2015)	$SI = a + bx + cx^2$ donde $a = 97,50282$, $b = -0,18567$, $c = 0,0000882$ $SI = 0$ para $X > 1000$
Oxígeno disuelto	Calvo (2015)	$SI = a/(1 + be^{-cx})$ donde $a=97,080537$, $b=60.400515$, $c= 1,1180264$
Demanda bioquímica de oxígeno	Calvo (2015)	$SI = 1/(a+bx^e)$ donde $a = 0,010027$, $b = 0,000352$, $c = 1,735142$
Nitratos	Calvo (2015)	$SI = 0$ para $X \geq 22.4$ $SI = a+bx+cx^2$ donde $a=99,42857$, $b=-0,57143$, $c= -0,17143$
Fosfatos	Calvo (2015)	$SI = a/(1 + be^{-cx})$

Parámetro	Autor	Fórmula
		donde $a = -48,6896$, $b = -1,49614$,
Sólidos suspendidos totales	Calvo (2015)	$SI = 100$ para $X \leq 1$ $SI = 1/(a+bx^c)$ donde $a = 0,009946$, $b = 0,0000826$, $c = 1,110736$
Coliformes fecales	Calvo (2015)	$SI = 0$ para $X \geq 9000$ $SI = a + bx + cx^2$ donde $a=96,42218$, $b = -0,0195$, $c=9,80 \cdot 10^{-07}$

Posteriormente Calvo (2015) calculó un nuevo valor para el índice de calidad de agua, en cada uno de los 30 puntos de muestreo de su estudio longitudinal, y obtuvo mejores resultados al usar sus nuevos subíndices para calcular la calidad del agua en Costa Rica.

2.6.5. Índice de la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NSF)

Este índice se incluye dentro de la investigación actual por tener un uso difundido en diversos países, estar asociado a distintos programas de monitoreo de aguas y por usar hasta 9 parámetros, 8 de ellos presentes en diversos kits de bajo costo. Acorde con Mladenović-Ranisavljević & Zerajic, Stanko. (2017), en caso de que falte algún valor de un parámetro, se usa como índice la proporción entre el valor generado y la suma de los pesos contemplados.

Su origen data de los 70, cuando la NSF convocó a 142 expertos en calidad de aguas de diferentes países para definir los parámetros a usar para medir la calidad del agua, se les consultó acerca de 35 posibles variables y ellos eligieron 9: Oxígeno disuelto, Coliformes fecales, DBO5, pH, Fosfatos, Nitratos, Cambio de Temperatura (desde 1,6 Km río arriba), Turbidez y Sólidos totales, cuyo factor de ponderación se calculó y definió acorde a la tabla 8.

Tabla 8. Pesos de importancia según parámetro de la NSF

Peso	Parámetro
0,17	Oxígeno disuelto
0,16	Coliformes fecales
0,11	DBO5
0,11	pH
0,10	Fosfato
0,10	Nitrato
0,10	Cambio de Temperatura (desde 1,6 Km río arriba)
0,08	Turbidez
0,07	Sólidos totales

La estimación de este índice ï explicado en el trabajo de Kachroud et al (2019) - se da mediante la siguiente fórmula:

$$NSFWQI = \sum (QValue(result_i) * weightFactor_i)$$

Donde el **Q_Value** corresponde a una función que transforma el valor original en otro valor normalizado y **weightFactor** corresponde al peso que se da al i-ésimo parámetro en la ponderación de la calidad de las aguas. En el anexo 1 se muestran varias formas de realizar la transformación mencionada

Una vez obtenido el índice, se genera su rango y se le asigna un color según se define en la tabla 9.

Tabla 9. Calificación de la calidad del agua por rangos según NSF

Color	Calidad	Rango
Azul	Excelente	91-100
Verde	Buena	71-90

Amarillo	Media	51-70
Anaranjado	Mala	26-50
Rojo	Muy mala	0-25

En este documento, se presentan 3 fórmulas para la estimación del NSFQWI, las dos primeras fórmulas difieren en la manera de transformar el valor del parámetro a fin de obtener el respectivo **QValue_i**. La tercera presenta una simplificación que, en lugar de usar 9 parámetros, usa solo 4 y que por ende también modifica el peso asociado con cada uno de ellos.

Fórmula 1 (fórmula original propuesta por Brown et al, 1970)

$$WQI_A = \sum w_i q_i / \sum w_i, i=1..n$$

donde

n es el número de parámetros

w_i es el peso relativo del i-ésimo parámetro

q_i es la valoración (el valor prorrateado) del i-ésimo parámetro

con

w_i (el peso unitario de cada parámetro) = inversamente proporcional al estándar recomendado para este parámetro

q_i (valoración del i-ésimo parámetro):

$$q_i = 100 [(v_i - v_{id}) / (s_i - v_{id})]$$

siendo

v_i el valor observado del i-esimo parámetro

v_{id} el valor ideal del i-esimo parámetro en agua pura (con excepción del pH, el valor ideal para los demás parámetros se estima igual a cero)

s_i el valor estándar permitido para el i-ésimo parámetro

Para obtener el **Q_Value**, se utiliza una gráfica por cada parámetro, así el valor asociado se extrae de dicha gráfica, pero para efectos de simplicidad, acorde con Thukral et al (2005) se pueden usar los valores en las respectivas tablas (Anexo 1).

Fórmula 2 (fórmula propuesta por Ott, 1978)

Ott propuso no usar las curvas sugeridas por Brown, sino otras tablas también referenciadas en el anexo 1 para realizar la transformación de **Q_Value**. En cuanto a lo demás, la fórmula se mantuvo igual.

Fórmula 3 (Central Pollution Control Board [CPCB] (2001))

Esta es una simplificación a la fórmula original de NSFQI, que es usada por el Central Pollution Control Board (CPBC) en India, la misma usa solo 4 parámetros como se puede apreciar en la tabla 10 y por ende ajusta el peso de los parámetros seleccionados.

Tabla 10. Peso de parámetros usado en NSF-CPBC

Parámetros de Calidad del Agua	Peso original según NSF WQI	Peso modificado según CPCB
DO	0.17	0.31
Coliformes fecales(FC)	0.15	0.28
pH	0.12	0.22
BOD	0.1	0.19
Total	0.54	1.00

Asociado con esta modificación, se da también una variación en la ecuación de los subíndices, según se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Funciones para normalización de los SI usadas en NSF-CPBC

Ecuación	Rango aplicable	Parámetro de calidad del agua
$IDO = 0.18 + 0.66 \times (\% \text{ Saturación DO})$	0-40%	Porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (DO)
$IDO = -13.55 + 1.17 \times (\% \text{ Saturation DO})$	40-100%	
$IDO = 163.34 - 0.62 \times (\% \text{ Saturation DO})$	100-140%	
$IFC = 97.2 - 26.6 \times \log(FC)$	1-1000	Coliformes fecales (cantidad / 100 mL) (FC)
$IFC = 42.33 - 7.75 \times \log(FC)$	1000-100000	
$IFC = 2$	>100000	
$IpH = 16.1 + 7.35 \times (pH)$	2-5	pH
$IpH = -142.67 + 33.5 \times (pH)$	5-7.3	
$IpH = 316.96 - 29.85 \times (pH)$	7.3-10	
$IpH = 96.17 - 8.0 \times (pH)$	10-12	
$IpH = 0$	<2, >12	
$IBOD = 96.67 - 7 (DBO)$	0-10	D.B.O (mg/L)
$IBOD = 38.9 - 1.23 (DBO)$	10-30	
$IBOD = 2$	>30	

La normativa CPCB reclasifica también la calidad del agua acorde con la tabla 12.

Tabla 12. Criterios de calidad de agua usados en NSF-CPBC

Conclusión	Clase según CPCB	Descripción de calidad	NSF WQI	Clase
No contaminada	A	Buena a Excelente	63-100	1
No contaminada	B	Media a Buena	50-63	2

Contaminada	C	Mala	38-50	3
Muy contaminada	D,E	Mala a Muy mala	38 y menos	4

Esta fórmula posee una ventaja financiera, ya que reduce la cantidad de activos requeridos y por ende el esfuerzo para medir los criterios de calidad usados en NSF-CPBC. A su vez presenta la desventaja de que la clasificación final es extremadamente permisiva, por ejemplo, el rango entre 63 y 100 considera la calidad del agua como de Buena a Excelente, cuando bajo la normativa original en esa categoría caerían aguas, cuya calidad puede ser tanto excelente, como buena o media, reservándose la ponderación de excelente, solo para aquellas aguas cuya ponderación sea superior al 90.

2.7. Sensibilidad del índice usado

Sin importar cuál sea el índice que se use, comúnmente se cuestiona la confiabilidad de los datos o la sensibilidad de las mediciones.

Para resolver el problema de confiabilidad de los datos, y dado que hoy no existe algún índice que sea universalmente aceptado, en el año 2005 Naciones Unidas, realizó un taller de trabajo con especialistas encargados de revisar el concepto Índice de calidad de agua, así como el de realizar observaciones al respecto. Como producto de ese taller se recomendó el índice global compuesto (que no forma parte de este trabajo), y que pondera cuánto se desvían las mediciones hechas de los parámetros, con respecto a la norma o valor ideal. Este grupo de expertos realizó un estudio de campo donde se emplearon datos ya recopilados (más de 2 millones de registros sobre mediciones de agua en ríos, lagos, reservorios y aguas subterráneas). En dicho estudio cada registro contempló 20 parámetros, cuyos valores fueron previamente normalizados y fueron contrastados contra los valores esperados. Uno de las pruebas realizadas planteó el uso de un índice mínimo, que con solo tres parámetros: oxígeno disuelto, conductividad y turbidez, correlacionó muy bien contra el objetivo deseado y además fue probado con diferentes concentraciones de los parámetros (UN, 2007).

En páginas anteriores se han descrito mecanismos de validación del índice usado por distintas instituciones, pero para algunas de éstas, no solo ha sido de interés validar el índice, sino que también han investigado cómo verificar el proceso. De esta forma se ha considerado la necesidad de verificar el método a usar, que acorde con Escher (2012) es esencial para evaluar la calidad del agua y saber si tal método es factible de usar, si es consistente, así como el grado de confianza en los resultados que brinda. Por su parte la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA), ha propuesto que para realizar la verificación de un método bioanalítico, se involucre la determinación de una serie de características fundamentales (FDA, 2013):

- **Selectividad**, que es la habilidad que posee el método de análisis para diferenciar y cuantificar la presencia del analito (sustancia analizada) en presencia de otros componentes en la mezcla.
- **Exactitud**, que corresponde a la proximidad entre el valor real y el valor que es medido. Una forma de garantizar la exactitud consiste en incluir muestras que representen al menos 5 concentraciones diferentes de la sustancia química de interés para el análisis.
- **Precisión**, que corresponde a la proximidad de las mediciones individuales del analito cuando el proceso se aplica repetidamente en un volumen proporcional simple homogéneo.
- **Recuperación**, donde la recuperación de un analito en un ensayo es la respuesta del detector, obtenida a partir de una cantidad de analito que es añadido y extraído de la matriz biológica, en comparación de la respuesta del detector obtenida para la verdadera concentración del analito en el disolvente.
- **Curva de calibración**, que es la respuesta del instrumento ante concentraciones conocidas del analito e incluye al menos dos corridas con 3 concentraciones diferentes para su prueba.
- **Sensibilidad**, que corresponde al nivel mínimo que puede ser medido y aceptado con exactitud y precisión.
- **Reproductividad**, que consiste en tener la capacidad de reproducir la evaluación usando el ensayo y las muestras originalmente contempladas.

- **Estabilidad**, que es una propiedad usada con productos que se almacenan durante un período de tiempo definido y que independientemente del momento en que se midan dichos productos, se van a tener resultados reproducibles.

Respecto a la verificación en el cálculo del índice de calidad de agua, no se conocen estudios que contemplen los 8 criterios propuestos por la FDA, pero en su lugar se hallaron otros estudios que procuran, sea reducir la cantidad de parámetros o contrastar la sensibilidad de un índice contra otro, según se indica a continuación.

Para analizar la sensibilidad del CWQI, el Consejo Canadiense de Ministros Ambientales contrató la realización de un análisis (Gartner, 2006), que involucró pruebas usando un dataset de 19,488 registros y un número distinto de parámetros en cada prueba. En el monitoreo normal de aguas en Canadá, se usan registros que poseen el valor de cada uno de los 11 parámetros siguientes: cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni), selenio (Se), NH₄, Pb, DO, pH, Cd, As y Mo.

Un primer conjunto de pruebas mantuvo estable las mediciones de cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni) y selenio (Se), pero fueron removiendo uno a uno el NH₄, Pb, DO, pH, Cd, As y Mo. Un segundo conjunto de pruebas usó como parámetros la turbidez, los sólidos suspendidos totales, el fósforo total, los nitratos, los coliformes fecales, Chlorophyll-a y el amonio.

Luego de estas pruebas se concluyó que:

1. Al usar 9 de estos parámetros en vez de 10 posibles, se perdió un 14% de confiabilidad en los resultados.
2. El índice CWQI reporta un valor razonable a partir de 10 parámetros y unas 30 observaciones en un período de al menos 3 años.

3. Para usar el CWQI, se deben **incluir al menos 7 de los parámetros originales**.
4. Cuanto mayor sea el conjunto de datos, mejor es la aproximación que se obtiene.

Por su parte la UNEP (2016 b) hizo un estudio de la sensibilidad para el índice de calidad de agua (WQI) y los parámetros almacenados por este programa ambiental (temperatura, Conductividad, Oxígeno, potencial de Hidrógeno, Fósforo y Nitrógeno), ensayando con la eliminación temporal y única de cada parámetro, computando su efecto en el índice de correlación de Pearson, cuyos resultados se muestran en la figura 4. Las pruebas se hicieron empleando entre 72,546 y 73,625 registros de muestreos de agua.

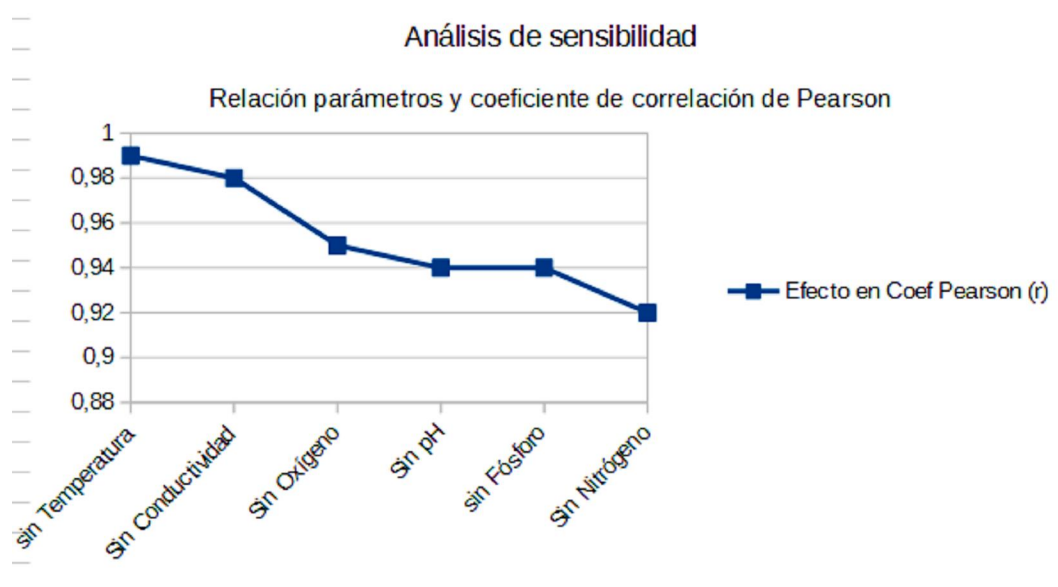


Figura 4. Análisis de sensibilidad de parámetros del CWQI

Aplicando en el análisis un nivel de significancia del 5%, se obtuvo que solo son de interés el nitrógeno, el fósforo y la acidez.

Paralelamente, con el fin de evitar los datos sesgados en la evaluación del WQI, se contemplaron tres eventualidades: (UNEP, 2016 a)

- valor ñ**No se detecta**ò,
- el parámetro posee valor cero o
- el sitio no registra suficientes datos por año (**Regla del 4x4**).

El valor ñ**No se detecta**ò se consideró porque tanto el instrumental, como el método pueden tener un límite de detección inferior a la norma. La Regla del 4x4, estipula que si las estaciones de monitoreo (sitios) muestrean menos de cuatro parámetros, durante 4 o menos veces por año, serán descartadas del cálculo del WQI.

Otro estudio de sensibilidad comparó los resultados de uso de dos distintos índices con los mismos datos, por ejemplo, contrastando el índice de la Fundación Estadounidense de Sanidad con los resultados del Índice de Calidad del Agua, en contraposición con el Índice de Calidad del Estado de Iowa (el **NSFWQI vs IWQI**). El estudio fue realizado por el Programa de Monitoreo Ambiental de Agua de Iowa y mostró parte de la inexactitud del primero, según se observa en la figura 5, donde se categoriza la calidad del agua en una de las siguientes categorías: very bad/poor, bad/fair, medium, good, excelent. La cantidad de muestras asociadas con agua de calidad Buena y Media se sobreestimaron con el NSFWQI, llegando a concluirse que la función usada en el NSFWQI enmascara parámetros con bajo subíndice, cuando están en asocio de parámetros que poseen altos subíndices

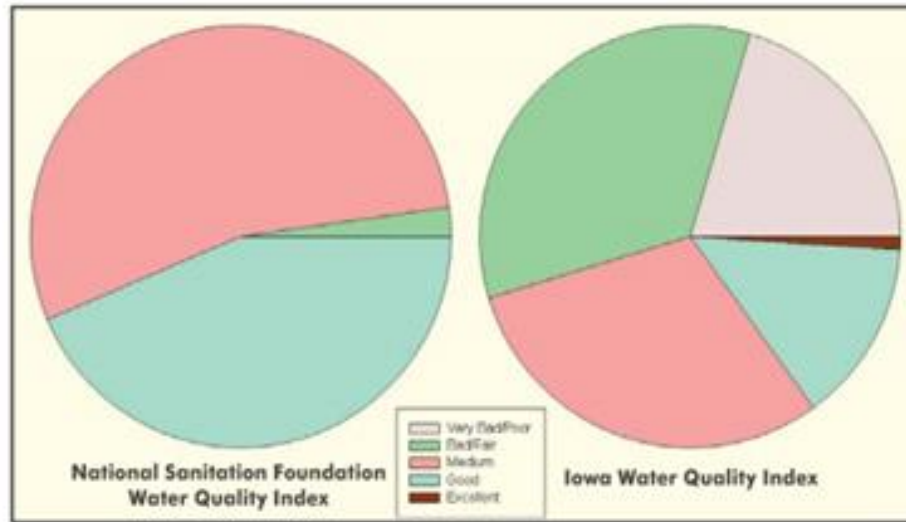


Figura 5. Comparación del NSFQI vs IWQI (2000-2004)

Ref: IWAMP, 2006

A pesar de ello, las mediciones de sensibilidad realizadas no son comparables entre sí por cuanto

- ✓ No poseen datos congruentes para contrastar.
- ✓ No se han recolectado los datos de manera similar.
- ✓ No se usa el mismo índice para comparar resultados

El llamado de Naciones Unidas a incrementar el monitoreo de las aguas superficiales, incrementa la masa crítica, así como la cantidad de datos y ofrecerá a la postre nuevas perspectivas para evaluar la sensibilidad de los diferentes métodos de cálculo del índice o de la calidad misma del índice, de ahí que un componente muy deseable en el monitoreo de las fuentes superficiales de agua sea el involucramiento de grandes grupos de voluntarios, algunas veces con intereses distintos entre sí.

2.8. Ciencia ciudadana para el cuido del agua

2.8.1. Ciencia ciudadana

Acorde con Irwin (1995), quién acuñó el término ciencia ciudadana,

“El desarrollo social ha llegado a una etapa en la que se necesita con urgencia un replanteamiento del vínculo entre la ciencia y la vida cotidiana.”

Se entiende por ciencia ciudadana una técnica de investigación que recluta al público en la recopilación de información científica (Bhattacharjee, 2005). Los proyectos a gran escala pueden involucrar a los participantes en redes de recopilación de datos continentales o incluso globales. Los datos agrupados se pueden analizar para identificar las tendencias de la población, los cambios de rango y los cambios en las fenologías. Los resultados pueden publicarse en la literatura científica y usarse para informar las decisiones de gestión de la población (Bonney et al, 2009)

La ciencia ciudadana ofrece la oportunidad de involucrar en la investigación a poblaciones de voluntarios, que disponen de interés, tiempo y tecnologías de la información, con redes sociales cuya omnipresencia se permite el sensado de eventos temporal o geográficamente dispersos. La motivación de muchas personas por apoyar la creación de nuevos conocimientos, pueden convertir “hobbies” en interesantes generadores de datos (Mitchel et al, 2017)

Como parte de todo proyecto de ciencia ciudadana se reconocen las siguientes actividades (Gura, 2013):

- i. promover el proyecto
- ii. entrenar voluntarios
- iii. crear el sitio web y la aplicación móvil para la recolección de datos

- iv. mantener el interés por la colección longeva e incremental de los datos

En el caso particular de esta investigación, el orden de las actividades fue otro, ya que el entrenamiento de voluntarios se dejó para una etapa posterior a la creación de la aplicación móvil. Mantener el interés longevamente por la colección, se tomó como primera actividad de interés, para ello se revisó lo que la legislación costarricense espera y lo que las tecnologías actuales posibilitan.

2.8.2. Ciencia ciudadana en el monitoreo de calidad de agua

Buytaert et al (2014) condujeron un interesante estudio sobre las oportunidades y deficiencias que presenta la ciencia ciudadana para la realización de estudios hidrológicos, donde con respecto a los datos muestreados concluyeron

“Estos datos tienen un potencial significativo para crear nuevos conocimientos hidrológicos, especialmente en relación con la caracterización de la heterogeneidad del proceso, las regiones remotas y los impactos humanos en el ciclo del agua. Sin embargo, la naturaleza y la calidad de los datos recopilados en experimentos de ciencia ciudadana es potencialmente muy diferente de los de las redes de monitoreo tradicionales. Esto plantea desafíos en términos de su procesamiento, interpretación y uso, especialmente con respecto a la asimilación de los conocimientos tradicionales, la cuantificación de las incertidumbres y su papel en el apoyo a las decisiones. También requiere atención en el diseño de proyectos de ciencia ciudadana de modo que los datos generados complementen de manera óptima otros conocimientos disponibles”.

En esa investigación se descubrió que de los casi 1800 Programas de Ciencia Ciudadana para el Monitoreo de Aguas que existían en Estados Unidos en el año 2014, solo 1 no se relacionaba con recolección de datos, lo que muestra una subutilización del trabajo voluntario

y la inhibición para generar un aprovechamiento analítico, que sea gestor de una mejor toma de decisiones respecto a los problemas locales de la protección del medio ambiente y de control de la calidad de agua.

Para los realizadores de la investigación anterior, debido a diversos factores, entre otros a deficiencias formativas en los muestreadores y deficiencias en los kits de bajo costo que se usan, debe tenerse mucho cuidado al tomar decisiones con cantidades masivas de datos que podrían tener escasa calidad, ya que peor que no contar con datos, es contar con datos de mala calidad, pero Cohn (2008) nos motiva a considerar diversas maneras de analizar los datos y recalca la relevancia de aprovechar la valiosa información que las personas pueden ayudar a coleccionar, quienes a su vez la aprovechan para incrementar sus conocimientos sobre el medio ambiente local y el contacto con la naturaleza. Experiencias de la ciencia ciudadana en el monitoreo de cangrejos, aves y clasificación de galaxia llevados a cabo por voluntarios, ha evidenciado altas tasas de acierto (en algunos casos superiores al 90%), pero todo esto luego de haber capacitado debidamente a los voluntarios sobre lo que van a observar y la manera de usar el equipo.

Según Ucko, director de la división de investigación en el aprendizaje de la National Sanitary Foundation de los Estados Unidos (NSF por sus siglas en inglés) (Cohn, 2008), la NSF hace uso de proyectos de ciencia ciudadana, no tanto para investigar, sino más bien para promover la enseñanza de la investigación y el aprendizaje entre los voluntarios enrolados. Acerca de la inquietud por el enrolamiento de personas sin estudios formales o los conocimientos adecuados como colectores de datos, cuya calidad podría criticarse si se compara contra el enrolamiento de científicos o estudiantes de la disciplina en cuestión, Ucko llega a la conclusión de que el aspecto monetario es una barrera infranqueable y que en razón de la amplia cobertura geográfica y temporal que los científicos ciudadanos pueden tener, se ha encontrado en la ciencia ciudadana una forma para obtener una alta rentabilidad de la colaboración de tantos voluntarios, por cuanto los datos que ellos ayudan a recoger, permiten reconocer anomalías, descubrir patrones temporales o geográficos del fenómeno en

estudio con respecto a otras áreas o momentos, así como a descubrir diferencias poblacionales y a hallar tendencias en el fenómeno que se monitorea (Buytaert et al, 2014).

Por su parte Au et al (2000) hallaron que estudiantes de colegio usando kits de bajo costo, generaron datos sobre la presencia de coliformes fecales en el agua que son de igual calidad que la producida por expertos.

Entre los esfuerzos internacionales para una adecuada gestión del recurso hídrico mediante ciencia ciudadana que se han venido ensayando, se tiene en primera instancia el proyecto GLOBE acrónimo de "Global Learning and Observations to Benefit the Environment" (NASA, 1994), programa iniciado por el gobierno estadounidense para la investigación y la educación, que fomenta la recolección mundial de datos, el involucramiento de la población en el análisis de datos y en la interpretación de estos para mejorar el ambiente tanto local, como regional, nacional y mundial. A pesar de la amplitud de recursos con que goza este programa y de que el mismo ha permitido el ingreso de más de 100 millones de observaciones de agua, el acceso a los datos y la información generada no aprovechan las posibilidades tecnológicas actuales.

Por otra parte, los mecanismos para realizar investigación también han venido evolucionando con el paso del tiempo, por ejemplo, en un debate promovido por Quadriga (Talkshow - Die Deutsche Welle) denominado Science 2.0 se discutió si la ciencia actualmente está en transición. Como parte de este debate se consideraron diversas maneras para combinar de una forma innovadora el proceso de investigación y el de publicación científica. Aspectos presentes en esta charla fueron el **acceso abierto, los datos abiertos, la transparencia y la colaboración**. (Kisjes, 2015). Cambios en la forma de investigar, recopilar, analizar, colaborar y publicar se abordan actualmente mediante nuevas formas. A modo de ejemplo se menciona que la editorial Elsevier adquirió la empresa Newsflo, que integrando la funcionalidad de Mendeley se encarga ahora de observar en dicha red de investigadores, las temáticas cubiertas por los medios de divulgación (Henning, 2015), donde a la fecha se

registran 3 millones de usuarios y 100 millones de referencias. Otro buen ejemplo de recolección distribuida de datos, lo representa hoy en día la wikipedia, que a 2007 contaba con más de 52,000 editores activos (Simonite, 2013).

En la tabla 13 se muestran algunos proyectos que buscan empoderar a las personas en el monitoreo de sus fuentes de agua dulce, invitando a colaboradores a recolectar y a analizar diversos datos provenientes de las muestras, donde la cantidad de variables ambientales controladas dependen del tipo de kit usado; por ejemplo, los kits básicos permiten realizar mediciones sobre 5 variables, mientras que otros más sofisticados permiten realizar mediciones sobre 15 o más atributos. El uso de kits básicos se hace con niños y adolescentes (por razón del precio) y el kit avanzado se deja a profesionales, grupos ambientalistas, municipios e industrias.

Tabla 13. Proyectos exitosos de ciencia ciudadana para el monitoreo del agua

Nombre	Descripción
CrowdHydrology («CrowdHydrology i Crowdsourced Water Level Data-Using technology to track water levels across the United States», s. f.) (CrowdHydrology, 2010)	Monitoreo del nivel de las fuentes de agua
Water Quality Monitoring Crowdsourc Data Collection Tool (World Bank, 2016)	Monitoreo de la calidad del agua. Temperatura de aire/agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica
World Water Monitoring Challenge (EarthEcho International, 2019)	Monitoreo de la calidad de las aguas. Temperatura, acidez (pH), claridad o turbidez, y oxígeno disuelto
Citizen Science Water Quality Mapping (Kansas State University, 2013)	Monitoreo de la temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, turbidez, fosfatos, y nitratos.

Nombre	Descripción
National Water Quality Monitoring Council (National Water Quality Monitoring Council, s.f.)	Monitoreo de fuentes de agua apoyado en sensores que miden hasta 4200 sustancias en el agua
ALLARM (Alliance for aquatic resource monitoring) (Alliance for Aquatic Resource Monitoring, s.f.)	Monitoreo de la calidad de las aguas de pequeños arroyos y cuencas hidrográficas de Pensilvania, afectadas por la extracción de gas natural

Como ya se ha citado, la iniciativa denominada GLOBE, llevada al campo internacional, promueve la incorporación de estudiantes y docentes de todo el mundo en la recolección y procesamiento de datos acerca de la calidad del agua en su lugar de monitoreo. Las personas que participan en este programa deben tener acceso a un kit básico para el procesamiento del agua.

Para incrementar la cobertura espacial y temporal del monitoreo en los cuerpos superficiales de agua, se incorporan tantos voluntarios como sea posible, de manera que algunos muestreadores provendrán del ámbito educativo y otros del ámbito ambientalista. Pero en sí, una amplia cobertura requiere -además del tiempo de los voluntarios-, que la tecnología que los mismos vayan a utilizar sea de bajo costo, de ahí que, para incrementar la factibilidad económica de este proyecto, se recomiendan kits que permitan la realización de pruebas *in situ* que al menos sean similares a otros usados a nivel internacional para el monitoreo del agua (Scientific American, 2013; LaMotte, 2016; Carolina, 2016).

Dado que los avances de la ciencia y de la tecnología, ponen a disposición de las personas diversos tipos de kits para el muestreo de aguas, algunos muy simples pero muy restrictivos (de bajo costo), y otros tremendamente especializados (obviamente de mayor costo que los primeros), se recomienda que antes de iniciar un proyecto de monitoreo de

fuentes de agua, se procure que el kit a usar permita muestrear los parámetros requeridos para el cálculo del índice a usar y que inclusive permita obtener las mediciones en el rango de valores que indique la normativa a usar.

Finalmente, entre los distintos retos que se enfrenta al apoyarse en la Ciencia Ciudadana para el monitoreo del agua, se hallan [Cunha et al, 2017]:

- Determinar la cantidad y tipo de variables ambientales requeridas, así como definir la forma más adecuada para evaluarlas.
- Lograr mediciones de gran calidad, que dependen del tipo de kit usado, la preparación del voluntariado y su apego a una forma estándar para realizar las mediciones.
- Obtener el financiamiento necesario para garantizar de manera recurrente los insumos para realizar las mediciones, así como para incorporar gradualmente nuevos sitios de muestreo.
- Lograr la permanencia de los voluntarios en el programa de monitoreo, ya que debe procurarse aprovechar al máximo la inversión que se hace al capacitarlos.
- Facilitar la gestión de información de interés para los voluntarios y los programas de monitoreo en que participan.

Los logros de los objetivos en esta investigación, dependen parcialmente de la capacitación del recurso humano, la calidad de la metodología, así como de la sensibilidad del índice y la del equipo usado.

2.8.3. Sensibilidad del equipo usado por voluntarios

Al medir el índice de calidad de aguas, la sensibilidad del valor puede verse afectada por diversas circunstancias, entre otras [UNEP, 2012]:

- ✓ Método usado para calcular el índice
- ✓ Parámetros empleados

- ✓ Valores consignados
- ✓ Capacidades heterogéneas en el kit usado
- ✓ Ejecución defectuosa en la realización del muestreo.

Para Naciones Unidas (2005) ñPor lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares ñ, pero también múltiples estudios físico químicos complementan sus resultados con estudios biológicos, sea de animales o de plantas afectadas por la calidad del agua en los ríos, sirviendo como indicadores de inferencia de dicha calidad.

La tabla 14 asocia la normativa de clasificación de calidad de agua según su uso, definida por MINAE (2007) contra las capacidades ofrecidas en un kit de bajo costo para el monitoreo del agua. (LaMotte, 2016; MINAE, 2007)

En dicha tabla la coloración amarilla indica que el analito no posee la sensibilidad requerida, por lo que se observa:

1. El kit no posee la capacidad de medir el nivel de fosfato que nuestra reglamentación requiere, de ahí que no valdría la pena hacerlo con los insumos en el kit.
2. El kit solo permite medir presencia o ausencia de coliformes fecales, de ahí que con el kit referido NO se podría definir a cuál categoría corresponde.
3. El Kit mide hasta 15ppm de Nitrato, pero acorde con la legislación eso solo correspondería con el límite superior de la clase 3.
4. Hay dos parámetros de interés cuya valoración dependerá de los evaluadores en mayor medida que las demás: los sólidos suspendidos totales y la demanda química de oxígeno.
5. Los muestreadores podrían medir calidades de la clase 1 y la clase 2. Valoraciones de otras categorías tendrían menos confiabilidad.

Tabla 14. Reglamentación vs un kit comercial de bajo costo para el monitoreo del agua

Kit (Parámetro)	Rango K1	Clase1	Clase2	Clase3	Clase4	Clase5
Coliforme Fecal	Presencia / ausencia	<20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000
Dureza Total	0-200 ppm / 4 ppm CaCO ₃ .	ND	ND	ND	ND	ND
Fosfato	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0 ppm PO ₄ ³⁻	ND	ND	ND	0,01	0,01
Nitratos (NO ₃)	0-15ppm	<5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	>20
Oxígeno disuelto	0-10 ppm / 0.2 ppm O ₂	ND	ND	ND	ND	ND
pH	3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5	6 a 9	5.5 a 9.5	5.5 a 9.5
Turbiedad	5i 100 JTU/5 JTU, 10i 200 JTU/10 JTU	<25	25 a 100	100 a 300	(1)	(1)
Sólidos suspendidos Totales (mg/L)		<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Temperatura (°C)	-5 a 45	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)		<20	20 a 25	25 a 50	50 a 100	100 a 300
Color (Pt-Co)		2.5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Alcalinidad	0-200 ppm					

(1) Natural o que no afecte el uso indicado

NA No aplicable

ND No Disponible

De los datos presentados en la tabla 14, se deduce que, usando ciencia ciudadana en asocio con este kit, se tendrá una limitación técnica para brindar resultados precisos en algunos de estos parámetros, por ejemplo, la turbiedad, si la misma no es calculada de otra manera, la clasificación máxima de agua según su uso y la normativa del MINAE, sería la clase 3. Algo similar pasaría con los Nitratos, ya que el kit tiene como límite máximo la Clase 4 de la normativa del MINAE. Esto provocaría que al existir valores que coincidan o superen cualquiera de las clases no contempladas, erróneamente se determine la última clase donde hubo evidencia.

3. Marco Metodológico:

Como parte de esta investigación se formuló un modelo semántico sobre el monitoreo de la calidad del agua en las fuentes superficiales (Fig.6). Este modelo sirvió para definir el énfasis de las tareas a realizar, se propusieron respuestas a la mayoría de estos elementos (representadas en color celeste), dejando de lado algunos que podrían ser objeto de una investigación futura en sí mismos (estos se representan en fondo blanco y algunos de ellos se contemplan en la sección de resultados o de posibles trabajos futuros).

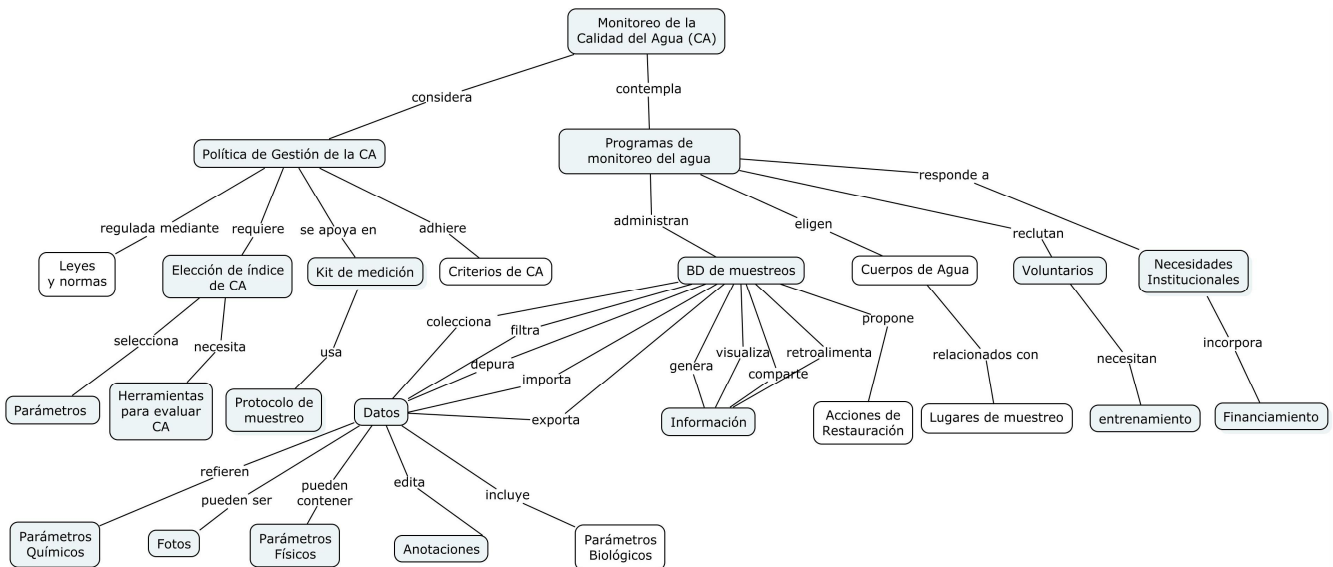


Figura 6. Modelo conceptual sobre el monitoreo del agua

En la figura 6 se incluyen aspectos técnicos, administrativos, políticos, cívicos y formativos, contemplados tanto desde el punto de vista teórico como práctico, destacándose que algunos elementos requirieron un abordaje cualitativo y otros uno cuantitativo. Por ejemplo, a nivel cualitativo se realizaron talleres, se ensayaron juegos motivacionales y se hizo una encuesta para medir la afinidad de los voluntarios durante el muestreo y el análisis de datos (Ver Anexo 8. Resumen de talleres) y a nivel cuantitativo se usaron estadísticas paramétricas para evaluar de diversas maneras el índice de calidad de aguas, así como el valor de la calidad usando el índice seleccionado, también se hicieron análisis de datos en series de tiempo y se usó minería de datos para intentar buscar alguna relación entre los hallazgos al usar el índice holandés con los respectivos factores usados en el índice NSF.

A nivel metodológico, como parte de este proyecto, se incluyeron las siguientes labores:

1. Evaluación de soluciones similares acorde a las fuentes bibliográficas disponibles.
Análisis de las variables usadas para medir la calidad del agua, la métrica usada, el tipo de kit y la sensibilidad de las pruebas usadas, así como el tipo de análisis realizado con dichos datos y la retroalimentación que se devuelve a los ciudadanos que han participado en el proceso.
2. Desarrollo de una aplicación móvil que funciona sobre una plataforma android, sea en teléfonos celulares o en tabletas. Esta aplicación permite recolectar la información de las variables a utilizar, así como toda otra información administrativa que facilita el proceso de geo referenciación de las muestras, de fotografías del sitio de muestreo, de fecha de muestreo, así como propias del equipo humano responsable de la toma de las muestras. La aplicación permite el ingreso, la modificación, la eliminación y la consulta de datos. Además de compartir los datos de las mediciones hechas, posibilita retroalimentar al usuario con un breve análisis de los valores registrados. Como parte de la aplicación, se maneja el concepto de ñpunto de interésò o POI por sus siglas en inglés, asociado con cada lugar de medición. El concepto de POI permite realizar operaciones aritméticas entre ellos (ej. resta de valores en POIs, calcular el máximo o mínimo entre POIs, hallar el promedio de valores similares en grupos de POIs)
 - a) **Resta de valores en POIs**, sirve para analizar la contaminación en un segmento del flujo de agua, ya que permite hallar la diferencia entre los valores de pares de parámetros congruentes (aquellos que miden el mismo fenómeno en dos lugares), ej. diferencia absoluta del oxígeno disuelto en agua en el POI₁ con respecto al valor del oxígeno disuelto en agua en el POI₂. Al efectuar este cálculo se puede determinar el efecto neto de la sedimentación y del vertido de aguas en un cauce entre dos POIs con respecto al oxígeno disuelto. El vertido puede ser natural (lluvia, arrastre, brote de una naciente, etc), artificial, ej. desagüe de aguas vertidas o una combinación de ambas. Se asume que POI₁ debe estar a igual o superior altura sobre el nivel del mar que el POI₂ y que ambos POIs deben estar asociados a un mismo cuerpo de agua, ej. al mismo río

- b) **Valor máximo o mínimo entre POIs**, permite fijar para una variable el POI donde se cumple el concepto de valor máximo o mínimo (según se desee), ej. ¿cuál es el punto de mayor contaminación de aguas fecales, sea en uno o en varios cauces?
 - c) **Análisis de series de tiempo**, dado uno o varios POIs se va a mapear en un intervalo de tiempo el resultado de todas aquellas muestras tomadas en los mismos POIs, pero en diferentes momentos de tiempo, así se podrá saber si la situación en un punto dado ha mejorado con el tiempo o no.
3. Ejecución de un plan piloto con participación de colegiales y otros ciudadanos interesados en protección del agua, tal que compartan un mismo cuerpo de agua (esto para probar las diversas funciones de la aplicación).
 4. Entrenamiento de voluntarios en el uso de la aplicación, el análisis de resultados y la definición de medidas de mitigación.
 5. Planeamiento de los sitios y tiempos de muestreo: esta tarea se realizó mediante entrevistas y reuniones conjuntas con los grupos de muestreo. Se buscó determinar la justificación para elegir determinados sitios, como por ejemplo la facilidad de acceso, la cercanía con vertederos, la proximidad con zonas de cultivo agrícola o la cercanía con sitios donde emanan aguas subterráneas.
 6. Realización de la recolección de datos
 7. Generación de un mapa de calidad del agua fresca y otros análisis de los datos

Acorde con Ostrom et al (1994) el río es un bien común, donde las salidas observadas en un punto del río, se tomarían como entradas del punto siguiente, así el valor de los parámetros medidos se verá afectado por los eventos río arriba. Si se detectan diferencias sustantivas entre el índice de entrada y el de salida, se debe monitorear por separación binaria el flujo entre el punto de entrada y el de salida. Esto permitirá contemplar diferencias espaciales y definir las medidas correctivas a ensayar en el área del flujo mayormente contaminante. Obviamente la división binaria de cualquier sección del río ayudará a identificar mejor aquellas secciones que tienen mayor participación en la contaminación del agua.

A diferencia de los índices de calidad de agua basados en pruebas de laboratorio, que enfatizan la sensibilidad de las mediciones, se propone en esta investigación la creación y aprovechamiento de un índice a usar con kits de pruebas rápidas, que se ha denominado Quick Test Water Quality Index (QTWQI).

3.1.Índice de calidad de aguas usando pruebas rápidas QTWQI

El hecho de que no se hayan estandarizado cuáles deben ser los parámetros a medir, según el uso del agua, o cuál debe ser la sensibilidad de dichas pruebas, ha generado que los kits comerciales creados para realizar pruebas rápidas de la calidad del agua, contemplen un subconjunto de los indicadores físicos o químicos.

Dado que los resultados generados con estos kits, pueden ser de difícil aprovechamiento, por cuanto comúnmente no se da alguna indicación de la manera como se deben interpretar los diversos valores que se generan, se propone, para corregir esta deficiencia, el nuevo índice QTWQI, cuya finalidad es estimular que los usuarios de tales kits persistan en el uso de estos, así como sacar mayor provecho de los datos que se generan y posibiliten comparar el estado de la calidad de las fuentes superficiales en diferentes momentos o lugares, de manera tal que las personas identifiquen la relevancia de la labor que desempeñan. Se aclara que, más que dar un valor preciso, este test ayuda a inferir la calidad de dichas aguas en ese momento y lugar específico, lo que podría servir para alertar e incentivar a estudios más precisos en casos de interés.

Partiendo de que hay variedad en la cantidad y tipo de parámetros entre diversos kits, el QTWQI se define como:

$$\times f(\text{valor}_i)/n$$

donde:

1. n es el número de indicadores físico/químicos que se miden con el test,
2. $f(x)$ es una función que transforma la medición puntual en una de 4 categorías, que se asocian con una progresión geométrica de la forma $2^{(c-1)}$ siendo c el número de categorías enrangadas

En la tabla 15 se muestran:

- Algunos indicadores que un kit de bajo costo podría medir, p.e. coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos, cambio de temperatura en el agua, turbidez.
- Valores asociados y enrangados para cada uno de estos indicadores. Por ejemplo, usando las transformaciones indicadas en la tabla 15, si se mide que existe un 80% de oxígeno disuelto, para el cálculo del índice QTWQI, lo que el kit podría interpretar como **Bueno**, aritméticamente se debe considerar como un **4**.

Tabla 15. Transformación del valor observado en las pruebas rápidas

Atributo	Valor			
	8	4	2	1
	Excelente	Bueno	Regular	Malo
Coliformes fecales		negativo		positivo
Oxígeno disuelto	91-110%	71-90%	51-70%	0-50%

Porcentaje de oxígeno disuelto		8ppm	4ppm	0ppm
BOD	0	4	8	
Nitrato			5ppm	20-40ppm
pH	7	6,8		4,5,9,10
Fosfato	1ppm	2ppm	4ppm	
Temperatura (cambio)	0-2 °C	3-5 °C	6-10 °C	>10 °C
Turbidez	9JTU	>10-40JTU	>40-100JTU	>100JTU

En color verde se identifica el valor numérico a usar de manera sustitutiva, así como la interpretación del mismo.

En color amarillo se indican los valores omisos en algunos kits para cada indicador.

También se representa en amarillo la variable ñcambio de temperaturaò asociada con la variación contemplada en un mismo instante para dos mediciones realizadas en el mismo cuerpo de agua a una distancia de 1,6 Km una de otra. Al respecto, se sugiere omitir este indicador en el cálculo de este índice, porque el cambio de temperatura en el agua puede ser de difícil obtención, lo anterior debido a:

- problemas de accesibilidad debido a la topología del terreno donde se debería ir a tomar la muestra
- razones de seguridad de los voluntarios (estudiantes en zonas dispersas, o que se trasladen entre ambos puntos)

- territorialidad (esta distancia haría difícil o imposible tener varios puntos de muestreo); por ejemplo, el sitio donde se hizo el plan piloto, posee unos 10 puntos de muestreo en cada río, en un recorrido no mayor a los 4 Km, de seguir el lineamiento de 1,6 Km habría necesidad de monitorear en sitios fuera de las fronteras administrativas, o hacerlo a lo sumo en 3 puntos.

Se presenta en color amarillo el parámetro coliformes fecales, porque a pesar de la importancia que este parámetro posee desde el punto de vista de salud, el resultado que los test rápidos brindan usualmente es binario y para su obtención se requiere además de un proceso de varios días, un protocolo de seguridad y el adecuado descarte de la prueba y sus desechos (entre otros, la del frasco donde se realiza), que hace poco atractivo obtener un indicativo de la presencia de coliformes sin cuantificar su volumen, lo anterior hace que este test aporte un valor despreciable.

De lo dicho anteriormente, aunque el kit usado como ejemplo ofrece 8 indicadores, para el cálculo del QTWQI, solo se recomiendan usar 6 de estos.

El QTWQI genera un valor real, enrangado entre 1 (malo) y 8 (excelente), que no depende del número de atributos que maneje el kit.

En el atlas digital, para identificar los puntos de muestreo monitoreados mediante kits rápidos, en vez de usar gotas con la coloración asociada a otros índices de mayor precisión, se va a usar una gota blanca y dentro de ella se va a poder visualizar el valor del QTWQI. La diferencia entre POIs va a indicar el resultado de restar el valor observado de cada indicador en los 2 puntos.

3.2.Implementación

Parte de esta investigación ha consistido en ofrecer una aplicación para ayudar a registrar, procesar, analizar, visualizar y compartir datos elementales de las fuentes superficiales de agua usando para ello los sensores y herramientas de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes o tabletas-. Al inicio la aplicación se estaba realizando en plataformas libres específicas, pero por interés de la municipalidad de Curridabat, se cambió de mysql a mongoBD y de php a note js. La aplicación finalmente generada, está en capacidad de transferir datos sobre evaluación de la calidad de aguas sea sincrónicamente o no- a un servidor central de carácter público, que, entre otras cosas permite mostrar mapas del estado de la calidad de aguas, tanto espacialmente como en series de tiempo en una sección geográfica. Usando dicha aplicación también se permite realizar consultas sobre el estado de un cuerpo específico de agua, su modificación observada con el paso del tiempo, así como monitorear el comportamiento de la contaminación en el recorrido de las aguas. Las salidas que se ofrecen a los usuarios, son de diverso tipo, entre otras:

- se provee un mapa de calidad de aguas que permite seleccionar el tipo de índice de calidad entre aquellos que se disponga. La escala de colores asociada con cada ícono, ayuda a visualizar el nivel de calidad del agua en un momento y lugar dado,
- se soporta la observación de las mediciones físico-químicas llevadas a cabo en un sitio y momento dado
- se proveen mecanismos para el filtrado de los datos, así como para la generación de datos consolidados
- se permite gestionar acciones de mitigación, tendientes a incidir favorablemente con políticas que mejoren la calidad del agua
- se apoyan labores para la estimación de caudales en cuerpos de agua.

Como se analizará más adelante, entre las aportaciones que este estudio brinda, se hallan las siguientes:

1. Se dota una herramienta tecnológica -que incorpora múltiples innovaciones para el análisis de datos- a miembros de diversos grupos ambientalistas y a estudiantes de secundaria.

2. Se incorpora en el monitoreo de la calidad de las aguas a uno de agentes responsables de su contaminación: las personas de la comunidad.
3. Se brinda información oportuna para la planeación y la toma de decisiones comunales acerca del agua fresca.
4. Se ayuda a simplificar la gestión del agua fresca al monitorear e identificar agentes contaminantes que amenacen dicho recurso.

La implementación de este trabajo contempló:

- a. Realizar la evaluación y la elección de 2 índices de calidad de aguas superficiales, así como a la adecuación de un protocolo de trabajo para ser usado por estudiantes de secundaria con un kit para mediciones rápidas.
- b. Proponer e implementar un índice usable con kits de pruebas rápidas.
- c. Definir e implementar algunos criterios para garantizar la trazabilidad de los datos y la calidad de la información que se genera, lo que conduce a permitir saber quién ingresó cada dato, así como poder filtrar temporal o permanentemente los datos asociados con cualquier conjunto de voluntarios.
- d. Crear una aplicación móvil, una aplicación web y diverso material didáctico para usar en los talleres o en trabajo de campo [ver anexos 2-7].
- e. Realizar la planeación, ejecución y supervisión del plan piloto, que incluyó a un grupo de colegiales en el monitoreo cantonal de aguas superficiales, que se realizó durante 7 sesiones en procesos de capacitación, recolección y análisis de datos, producto del cual se ensayaron y depuraron diversos materiales, tanto de carácter motivacional, como formativo, analítico o de evaluación del proceso.
- f. Realizar evaluaciones y proponer modificaciones en los datos para poderse usar como parte de los índices seleccionados, lo que produjo la depuración de los datos sobre la calidad de aguas que maneja la Municipalidad de Curridabat.
- g. Generar una herramienta que permite la carga masiva de datos, tal que se puedan importar y depurar los datos de muestreos realizados en diversos puntos de interés, de manera que sirvan como puntos de interés en el Atlas de calidad de aguas.

- h. Acercar la academia a la investigación, mediante la incorporación de estudiantes universitarios en tareas afines a este trabajo, por ejemplo, en el curso CI-1330 Ingeniería de Software se propusieron y llevaron a cabo 3 proyectos, y durante la semana universitaria del 2018 se realizó un taller de capacitación acerca de mongoDB³. Algunos de los resultados obtenidos se describirán posteriormente en este apartado y se evidenciarán entre los anexos.

A continuación, se presentan con mayor detalle algunas estrategias seguidas en el contexto del presente trabajo, relacionándolas con los respectivos objetivos definidos al inicio del mismo.

Objetivo # 1. Ofrecer una herramienta tecnológica que permita registrar, procesar y visualizar datos sobre calidad de agua en aquellos cuerpos de agua que estén siendo monitoreados.

Para satisfacer este primer objetivo, se inventaron, diseñaron, implementaron y pusieron a prueba herramientas digitales que satisfacen diversas funcionalidades en cuanto al registro, el procesamiento y la visualización de los datos, para cuya gestión se siguieron guías básicas enfocadas en garantizar que:

- la herramienta sea abierta al público. En el desarrollo de la misma, se han usado en su mayoría solo tecnologías de dominio público, ej. javascript, android y mongoDB que fue una petición explícita de la Municipalidad de Curridabat, ya que el interés de ésta ha sido poder integrar estos datos en la plataforma digital que ellos han ido desarrollando, motivo por el cual se desarrollaron ñweb servicesò de tipo REST, que permiten ser usados de manera transparente desde otros sitios web.

³ Este taller fue tomado por unos 20 estudiantes de Computación, a quienes les permitió acercarse al uso de un manejador de BD no relacionales (mongoDB), que, a pesar de su gran uso en el mercado, no formaba en ese entonces parte obligatoria del plan de estudios.

- tanto el software como los datos son de dominio público. Acorde con las leyes vigentes y el interés en fomentar los datos abiertos y luego de hacer un estudio de licencias, se propone una licencia Creative Commons CC BY NC SA⁴.
- se puede dar la trazabilidad de datos entre usuarios y puntos de medición. Esta funcionalidad se ideó con doble propósito, por un lado, permitir que toda persona autenticada como voluntario, pueda subir sus datos para ser compartidos, pero por el otro lado, admitir que dichos datos se puedan incluir o excluir temporalmente en todo proceso de análisis o de visualización, a lo que se denominado filtrado de datos,
- se permite al administrador de esta base de datos, poder excluir permanentemente datos no deseados como parte de la misma,
- se facilita el filtrado temporal de datos, de manera tal que la visualización y el análisis se ajuste a las necesidades de los usuarios. La selección progresiva de datos se usa como estrategia para los efectos de toda consulta o análisis,
- se poseen diversas medidas para incrementar la calidad de los datos.

Considerando con un mayor nivel de detalle este primer objetivo, se evidencian a continuación algunos productos específicos desarrollados para el registro, el procesamiento y la visualización de datos acerca de la calidad del agua.

Registro de datos.

A aquellos usuarios debidamente autenticados, se les ofrecen dos mecanismos para el registro de sus datos:

⁴ Acrónimo de: Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual (por sus siglas en inglés)

Registro en línea para los datos individuales asociados al muestreo en un sitio y momento dado, pudiendo ellos elegir el tipo de índice que desean calcular (IH, NSF-WQI, QTWQI o ninguno) y con base en éste se les apoya para que ingresen los parámetros físico-químicos o biológicos requeridos y si los hubiera, se les acepta otros como adicionales. Entre los parámetros optativos están 4 fotografías, cada una de ellas asociable hasta con 3 palabras claves.

Carga masiva de datos previos, que permite alimentar la base de datos con colecciones existentes de datos sobre calidad de agua, siempre y cuando los datos en la misma incluyan la longitud y la latitud del sitio de muestreo, así como el responsable de la misma. Funcionalmente esta aplicación web, se hizo para ejecutarse desde un PC, ya que requiere una amplia zona para el despliegue de los datos, así como posiblemente el acceso a archivos almacenados en diversos directorios. Para posibilitar una migración de datos más segura, se obliga al interesado a tramitar un previamente un permiso digital (que se extiende a quien lo solicite, siempre y cuando brinde una cuenta de correo verificable). Una vez recibido el permiso, el interesado debe realizar un pareo entre los parámetros existentes en la colección que desea importar y los parámetros que se manejan a lo interno de la aplicación, para ello se toma cada parámetro de aquellos indicados como existentes en la colección del interesado y se arrastra sobre el respectivo parámetro que se maneja en la aplicación, esto hace que para los efectos del caso ambos parámetros se traten como sinónimos. Aquellos atributos no apareables se toman como optativos si provienen del archivo o como omisos si se trata de los atributos en la aplicación.

Paralelamente y dado que, a pesar de los controles implementados para la autenticación de los voluntarios, los usuarios podrían subir datos incorrectos, se diseñó e implementó un mecanismo para garantizar la trazabilidad entre el dato y la persona que lo ingresó, de manera que, en caso de necesidad, estos se puedan filtrar temporal o permanentemente de la base de datos, considerando ya sea el origen de los

mismos, el tipo de índice, la institución, u otros parámetros. Es decir, no se va a impedir que se suban datos incorrectos, pero los mismos se podrán descartar cuando así se determine, además se podría eliminar el permiso para registrar datos que se hubiera otorgado a aquellos usuarios no deseados. (Ver anexo 2. Registro de datos)

Procesamiento de datos.

Bajo este término se agrupan distintas funciones que permiten realizar operaciones con los datos recopilados. Algunas operaciones se relacionan con:

- depurar los datos propios del usuario en la base de datos, mediante la corrección de los mismos,
- calcular el valor del índice de calidad a partir de los parámetros físico, químicos y biológicos acorde al peso que se les ha asignado,
- obtener diferencias en el valor de parámetros similares, pero en distintos puntos de muestreo relativos a un mismo cuerpo de agua, esto permitirá medir la contribución de una zona con la depuración / contaminación del agua a partir de un punto dado.
- generar un análisis temporal de los datos, sea asociado a algún parámetro, algún índice, algún sitio, alguna institución o algún usuario específico,
- omitir o incluir datos en un análisis particular.

Como ya se indicó, al procesar los datos, los usuarios pueden elegir si usan algún tipo de índice de calidad de agua, una vez hecho esto y luego de que se han ingresado todos los datos necesarios, se calculará el valor asociado.

Se describen a continuación las principales funciones implementadas para el procesamiento de datos:

Elección del índice a usar (se soporta el uso del índice holandés o IH, el índice de calidad propuesto por la Fundación Sanitaria de los Estados Unidos o NSF-WQI y el índice para pruebas rápidas QTWQI). En caso de que el usuario no desee usar un índice en particular, se posibilita el registro de parámetros individuales, por ejemplo, el Laboratorio para el Manejo del Recurso Hídrico de la Universidad Nacional o ñLMRHI-UNAò suele manejar 5 parámetros y hacer un análisis separado por cada parámetro, esta aplicación reconoce el conjunto de tales 5 parámetros con el nombre de ñLMRHI-UNAò.

Para el cálculo del índice NSF se evaluaron 4 formas halladas en la literatura para calcularlo (Brown et al (1970), Thukral et al (2005), Ott (1978) y CPCB (2001)), se vio la similitud entre ellas y se eligió la CPCB por requerir tan solo 4 parámetros. Para eliminar la indulgencia en la clasificación de la calidad usada por el CPCB, en vez de usar el esquema que propone el CPCB, se mantiene el esquema original de transformación porcentual del NSF a su respectivo color.

En la tabla 16 se refleja que los cuatro métodos NO producen alteraciones en el código de color de la calidad de agua y que las variaciones son pequeñas ($77,76 \pm 1,48$) e insignificantes.

Como ya se dijo, la elección de la fórmula usada por la CPCB tiene la ventaja de usar solo 4 parámetros en contraposición con los 9 requeridos por los otros métodos (además de que el kit usado en el plan piloto solo maneja 8 de ellos). Al manejar menos analitos, se podría reducir el costo de la evaluación de calidad en cada sitio, pero mientras esa decisión no se tome, se registran los 9 parámetros, aunque solo se usen 4 para medir el nivel de calidad.

Tabla 16. Cálculo del NSF mediante distintos métodos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1					Brown et al		nearest	Thukral et al	nearest	Ott	nearest		CPCB
2	test	result	unit	Q-value	weight factor	subtotal	Q-value1	subtotal	Q-Value2	subtotal	Q-Value2	weight factor2	subtotal
3	DO	82	% sat	90	0,17	15,3	87	14,79	88	14,96	82,39	0,31	25,5409
4	Fecal Coliform	12	#/100 mL	72	0,16	11,52	72	11,52	71	11,36	68,49378	0,28	19,1782581
5	pH	7,67	std units	92	0,11	10,12	83	9,13	90	9,9	88,0105	0,22	19,36231
6	BOD	2	mg/l	80	0,11	8,8	80	8,8	80	8,8	82,67	0,19	15,7073
7	change T	5	degrees C	72	0,1	7,2	73	7,3	72	7,2			0
8	Total phosphate	0.5	mg/L PO4-P	60	0,1	6	60	6	60	6			0
9	nitrate	5	mg/L NO3	67	0,1	6,7	65	6,5	65	6,5			0
10	turbidity	5	NTU	85	0,08	6,8	86	6,88	84	6,72			0
11	TS	150	mg/L	78	0,07	5,46	79	5,53	78	5,46			0
12	NSFWQI				1	77,9		76,45		76,9		1	79,7887681
13													
14						Buena		Buena		Buena			Buena-CPCB

Los datos monitoreados para ser usados en el índice holandés, presentan un buen nivel para expresar la calidad de las aguas superficiales, lo que hace que la información que se genera, también sea de buena calidad. A pesar de que el índice WQI_NSF es formalmente muy completo, los kits de bajo costo que se usaron, no permiten generar una evaluación puntual del nivel de calidad de dichas aguas, sino que los resultados se alejan mucho de lo esperado. Es opinión de este investigador, que las pruebas rápidas de medición deben mejorarse para no comprometer el interés de los usuarios. Para solventar la necesidad de poderle dar un buen uso a los kits de pruebas rápidas se creó y se puso en práctica un índice que ayuda a analizar más simplemente el comportamiento de la calidad del agua cuando se usan kits de bajo costo para su medición.

En el contexto de este objetivo, como ya se ha dicho, se motivó a 3 grupos de 5 integrantes cada uno, todos ellos estudiantes de Informática en la UCR a realizar la práctica semestral del curso CI-1330 Ingeniería de Software 1 en la implementación de 3 herramientas ideadas en el contexto de esta

investigación, un equipo implementó una herramienta para el análisis de series de tiempo de datos sobre monitoreo de aguas, un segundo equipo implementó una herramienta para el cálculo del índice BMWP-CR y finalmente un tercer equipo implementó una herramienta para la edición morfológica de insectos y el reconocimiento de especímenes acorde a los rasgos del mismo, lo que podría ser de especial interés para poder calcular el BMWP-CR. El resultado del equipo que manejó series de tiempo se integró en la versión web. El equipo que trabajó la clasificación biológica de insectos acuáticos, generó una herramienta autónoma que quizás pueda integrarse en una futura versión del sistema de monitoreo de aguas. Como parte de este trabajo inicialmente se ideó y diseñó cada una de tales herramientas.

Edición de valores incompletos. Se permite que los voluntarios puedan modificar sus datos, pero no así los de otros voluntarios.

Filtrado de datos. Esta funcionalidad permite que los usuarios seleccionen momentáneamente subconjuntos de datos sobre los cuales trabajar o visualizar, para esto solo se deben elegir datos de un mismo tipo, sea físico (localización, institución, voluntario), temporal (rango de fechas), procedimental (tipo de índice) o una combinación de todo lo anterior.

Aritmética de POIs. Se implementó el cálculo de la diferencia entre dos puntos de muestreo (POIs) cualesquiera con respecto a los diversos parámetros medidos, así como también se calcula la razón de la variación (proporción del cambio entre ambos sitios medida por cada uno de los parámetros). (Ver anexo 3. Procesamiento de datos)

Visualización de datos.

Se diseñaron e implementaron distintas formas para visualizar los datos procesados, ej. puntos de color sobre un mapa, tablas para analizar la aritmética de los POIs seleccionados, herramientas para registrar y observar fotografías que incluyen códigos QR en donde se registran datos del sitio, el voluntario o alguna situación que él quisiera dejar anotado respecto a las condiciones ambientales en el sitio de muestreo. También se diseñó una herramienta para realizar el análisis de series de tiempo de los datos y mostrarlos de manera gráfica. (Ver anexo 4. Visualización de datos)

Objetivo # 2. Involucrar a grupos organizados en el monitoreo, registro, análisis de datos, distribución de resultados del comportamiento de la calidad en los cuerpos superficiales de agua fresca, para que realicen su labor de forma sistemática.

Con el afán de cumplir a cabalidad con este objetivo, se crearon herramientas que simplifican algunas de las labores del voluntariado comprometido con el monitoreo del agua mediante el trabajo, para lo cual se coordinó con diferentes actores: la Municipalidad de Curridabat, alumnos de quinto año del Colegio San Antonio de Padua, docentes de dicho colegio y ambientalistas. La implementación buscó obtener resultados agrupados en tres categorías: forma sistémica, grupos organizados y carácter global.

- **Forma sistémica:** para garantizar una forma estandarizada de realizar el monitoreo y permitir comparar resultados, se implementaron una serie de artefactos, usados con voluntarios durante diversos talleres realizados para capacitar, motivar o usar las herramientas tecnológicas.

Dado que la calidad de los datos recolectados depende en buena medida en la capacitación de los participantes, se realizaron 6 talleres supervisados y un evento de cierre. Para la buena marcha de los talleres, se crearon materiales que se pusieron en práctica y se corrigieron acorde a lo observado y lo referido por los participantes. (Ver anexo 5. Materiales usados en la capacitación)

La estandarización también se vio beneficiada con el desarrollo de las aplicaciones, para lo cual se crearon dos servidores: uno a lo interno de la UCR usado para consolidar, analizar y compartir los datos, así como para albergar las aplicaciones necesarias para la autenticación de voluntarios, la carga de datos, la transmisión de datos y otras similares. En una plataforma comercial⁵ se creó un segundo servidor para el ensayo de soluciones parciales, su integración y prueba antes de ponerlas en el servidor de producción.

Para estandarizar la colecta de muestras, se investigó y adaptó un protocolo de muestreo que permite la captura y digitalización de las muestras, para su posterior interpretación. (Ver anexo 6. Protocolo de muestreo)

- **Grupos organizados:** Como ya se indicó, se simplificó la colaboración con grupos organizados gracias al interés e intervención del equipo de Innovación y a la del ambientalista de la Municipalidad de Curridabat, así como al interés de docentes del Colegio San Antonio de Padua en Curridabat y a Escuela de Geografía de la UCR. Parte del personal del equipo de Innovación se encargó de hacer los contactos dentro de la municipalidad, así como con un grupo ambientalista del cantón, también se encargaron de promover entre centros educativos del cantón y de coordinar finalmente con el Colegio San Antonio de Padua. El ambientalista de la municipalidad brindó los datos sobre mediciones de calidad de agua que el municipio contrata mensualmente, también ayudó a identificar sitios de muestreo para usar con colegiales, se

⁵ Cloud 9

incorporó a las sesiones de muestreo de aguas, así como a la de análisis de datos. Con el grupo ambientalista se coordinó acerca de la forma de trabajo, la divulgación de resultados y algunos aspectos sobre educación ambiental. Con los docentes del colegio se coordinó para la ejecución de los talleres, los permisos familiares y escolares para asistir a los sitios de medición recomendados. Ellos fueron fundamentales dentro del proceso motivacional, se integraron a las actividades lúdicas, ayudaron a identificar el uso del plan piloto como actividad coordinable con el plan de estudios colegial, se encargaron de pedir y conseguir las busetas escolares para movilizar a los estudiantes hasta el sitio de muestreo. También dieron el soporte para el análisis de la demanda química de oxígeno y del nivel de coliformes fecales (la primera de ambas pruebas dura 5 días y la segunda 2, ellos se encargaron de ejecutar estas pruebas y realizar las respectivas mediciones). Finalmente se decidió omitir la prueba de coliformes por cuanto el analito usado da un resultado binario: presencia / ausencia de coliformes en el agua, y para los objetivos de este estudio, se asume su presencia en todos los cuerpos de agua.

Estudiantes de la Escuela de Geografía coordinaron con 14 ASADAS de San Carlos el uso de esta aplicación y realizaron un plan piloto, capacitando y recolectando muestras de agua, cuyas mediciones se fueron incorporando en la plataforma.

Como parte de este trabajo se realizó un plan piloto en colaboración con las instituciones antes mencionadas. Se trabajó en coordinación interdisciplinaria con 3 Químicos, 3 Gestores Ambientales, 3 Biólogos, 1 Hidrólogo, 1 Salubrista, estudiantes de geografía de la UCR y varios Informáticos. Aspectos como cualidades de los kits de medición rápida (riesgos, calibración, sensibilidad), protección de datos, bases de datos hidrológicas con nombres de cuerpos de agua, tecnologías de dominio público para el manejo de grandes

volúmenes de datos, coordinación de esfuerzos de desarrollo, depuración, respaldo y puesta en uso. También servicios virtuales, servicios web y herramientas de desarrollo fueron algunos de los temas de discusión, que ayudaron a generar una solución tecnológica ajustada a los intereses de los profesionales consultados.

- **Carácter global**, dado que la problemática del control de calidad de las aguas superficiales no es solo de carácter nacional, sino que aqueja a una gran cantidad de países, usando algunas de las facilidades tecnológicas brindadas por google maps y por android, se buscó que automáticamente se capture del equipo móvil la geo referenciación del sitio de muestreo y que del sitio de google se capture la división geopolítica del país donde se muestrea. La aplicación se diseñó para que tenga por defecto el idioma inglés, reconociendo el lenguaje del sistema operativo que posee el aparato móvil y adaptando el lenguaje en las interfaces al mismo, pudiendo admitirse el inglés, castellano, portugués, francés y alemán, de ahí que las interfaces aparezcan en el idioma del sistema operativo. Cualquier otro idioma vería las interfaces en el idioma ñdefaultò, es decir inglés.

Objetivo # 3. Facilitar la participación de grupos organizados para la toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico.

Aunque inicialmente se implementó un plan piloto en la zona de Curridabat, otros estudiantes de hidrología trabajaron también por su cuenta otro plan piloto en la zona de San Carlos.

En esta investigación se trabajó con diversos grupos, que aún coordinados en torno al monitoreo del agua, poseían distintos intereses, recursos y habilidades.

Un primer plan piloto se realizó con estudiantes y docentes de secundaria. Con el primer grupo se llevaron a cabo 7 talleres, 5 dentro del colegio y 2 en los sitios de monitoreo. Otro grupo lo conformaron funcionarios tanto del municipio, como de organizaciones ambientales y docentes universitarios. Con este segundo grupo se coordinó el acceso a los datos, así como el análisis que se podía hacer sobre estos. Un tercer grupo se conformó alrededor de 14 ASADAS.

Producto del trabajo con estos grupos se optó por tener dos ambientes digitales de trabajo, uno básicamente orientado hacia el registro y consulta de las muestras (aplicación Android para celulares y tabletas) y el otro orientado fundamentalmente al análisis de datos (aplicación web para PC) [Ver anexo 3. Procesamiento de datos y anexo 4. Visualización de datos].

Con el primer grupo se discutió acerca de la calidad de las aguas en diversos sitios, por ejemplo, ¿a qué se podría deber que la calidad del agua de un río sea peor en la parte alta del cantón, que a la salida de las aguas desde este cantón hacia el cantón vecino aguas abajo?, también se identificaron estrategias de acción a realizar a partir del año 2018 (ver Anexo 7 Toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico). Con el segundo grupo se discutió acerca de la relevancia de monitorear la calidad del agua en los 20 sitios actuales, así como posibles acciones municipales para mejorar la calidad de dichas aguas. También se discutieron alcances y estrategias para incorporar a estudiantes y grupos ambientalistas con que trabaja el municipio, tanto así que, por decisión propia de personeros del municipio, se incluyó en el presupuesto del 2018 la compra de kits de análisis de aguas para apoyar a algunos centros educativos que se quieran sumar a esta iniciativa.

Toma de decisiones Para implementar la toma de decisiones debe contarse con información y una combinación de experiencia con conocimientos, lo que se conoce como razonamiento por analogías. En este trabajo se buscó implementar herramientas para el análisis de datos que, en asocio con información sobre la actividad económica

y social del lugar, permitan la discusión e identificación de hipótesis, que sustenten razones acerca del por qué se da el incremento en la contaminación de los ríos del cantón.

De manera paralela durante los talleres se usó la técnica Delphi para identificar estrategias de análisis de situación, así como estrategias de mitigación de daños que por razones de tiempo y esfuerzo no se ensayaron como parte del plan piloto, pero que se piensan evaluar y considerar para su implementación en el corto plazo.

4. Discusión, Resultados y Conclusiones

4.1.Discusión

En esta sección se procura dar respuesta a las diversas preguntas gestadas al inicio de esta investigación.

Al inicio de este trabajo, al investigador le interesó particularmente, ¿qué información se requiere dar como retroalimentación a los voluntarios que participen de un programa de monitoreo de aguas para motivarlos a seguir colaborando y que se sientan empoderados para proponer acciones de mitigación de los efectos nocivos sobre la calidad del agua fresca de su localidad?

La pregunta anterior se hizo con el fin de empoderar y reclutar a ciudadanos, para que se sientan satisfechos con la labor de monitoreo que realizan, para ello se diseñó, desarrolló y adecuó una plataforma que permite ser usada por un amplio ámbito de personas interesadas, teniendo inclusive intereses que podrían ser contrapuestos, motivo por el cual se tuvo que identificar y buscar un punto de equilibrio que satisficiera las necesidades de biólogos (algunos de ellos exteriorizaron su preocupación sobre derechos de propiedad, disponibilidad y privacidad de datos), instituciones educativas de secundaria (a quienes les interesó la calidad del agua como un todo y las medidas correctivas), a los funcionarios municipales (interesados en la integración de los mapas de calidad de aguas en la plataforma institucional que poseen, así como también se interesaron por el desglose de los datos, el manejo de series de tiempo, y la posibilidad de realizar comparaciones entre sitios). Además, se incluyó la posibilidad de registrar y etiquetar fotos para su posterior uso y consulta.

Todo lo anterior condujo a ensayar, presentar y evaluar la retroalimentación que se brinda y de esa manera contribuir a la cultura del agua como un bien común. Con el paso del tiempo

se han ido descubriendo nuevas formas de procesar y presentar los datos a los usuarios, ya que una vez que sus necesidades o inquietudes temporales se satisfacen o se incrementa su bagaje cognitivo, es usual que tales usuarios aspiren a aprovechamientos más inteligentes de los datos.

En este trabajo se fomenta el involucramiento de voluntarios, no solo como recolectores de mediciones (lo que es común en programas de muestreo de aguas), sino como actores de cambio. A estos voluntarios no solo se les pide colaborar como muestreadores, sino que se les dan herramientas para enriquecer los datos observados, se le aportan herramientas analíticas y se les da una plataforma para planificar, coordinar y evaluar las acciones de mitigación que hayan decidido llevar a cabo. Otras herramientas usadas con voluntarios no cuentan con estas facilidades.

Los participantes en los dos planes piloto se mantuvieron durante los 5 o más meses de vigencia de los mismos. Como ya se citó, se les generó información percibida por ellos como información de valor, pero no se hizo algún estudio sobre si dicha información es suficiente para empoderarlos a proponer acciones de restauración, o si se debe manejar otro tipo de información más adecuada. Es opinión del investigador que el empoderamiento va ligado a la evidencia de la mejora en la situación sobre la que se actúa, para lo cual se requiere ir monitoreando el aporte individual de las diferentes iniciativas, así como el de los cambios en las estrategias usadas, pero el plazo de esta investigación fue insuficiente para medir el efecto de las acciones de mitigación que se han llevado a cabo y por ende no se evaluó en qué medida empodera una herramienta como la presente a los grupos organizados alrededor de la problemática en cuestión.

Desde el punto de vista técnico, se planteó investigar: ¿Qué nivel de soporte dan las TICs para registrar la contaminación / depuración de los cuerpos superficiales de agua en CR?

Entre las TICs actuales se citan, equipos móviles tales como tabletas y teléfonos inteligentes,

sensores, protocolos de transferencia de datos, mecanismos para el almacenamiento de grandes volúmenes de datos, facilidades para la transferencia ágil e inalámbrica de datos, compatibilidad con bases de datos legadas, así como el soporte para realizar diversos tipos de visualización de los mismos. Además, las TICs a disposición cuentan con el acceso a bancos públicos de datos, que simplifican la armonización e interpretación de los datos, por ejemplo, se hizo uso de dos BD sobre ríos, una BD sobre la división geopolítica de todos los países del mundo, mapas basados en imágenes satelitales, etc.

Para el análisis de datos de cuerpos de agua de Costa Rica, se usa una base de datos acerca de la distribución espacial de los ríos, permitiendo reconocer el nombre de los cuerpos de agua próximos al sitio de muestreo o de análisis. Esta facilidad no se pudo generalizar a otros países por no haberse podido identificar bases de datos similares para cada país. Aun cuando se localizó una base de datos sobre ríos en toda la tierra, la misma además de ser incompleta, estaba solo en idioma inglés, haciendo ambas carencias que se haya decidido no usarla

Otra de las interrogantes planteadas antes de iniciar esta investigación fue ¿En qué medida es sostenible apoyar una labor de monitoreo, en individuos no remunerados, que serían los encargados de realizar dicha labor?, y en este contexto, ¿cuáles serían los costos recurrentes asociados para el análisis de la calidad de las aguas superficiales que deberían ser financiados por la ciudadanía?

En los planes pilotos los voluntarios se han mostrado muy interesados, y a ellos se les ha provisto con los equipos y reactivos necesarios. Por la dinámica requerida para la adquisición tanto del equipo, como de los analitos, no parece oportuno que sean los voluntarios quienes paguen y lidien con los problemas para la adquisición de ambos. En cuanto a los costos recurrentes, como ya se ha indicado, están asociados con el valor de los analitos y el de los insumos requeridos. Otros costos recurrentes fueron el transporte, el seguro, materiales de seguridad personal (guantes de vinilo, anteojos), materiales de limpieza (jabón, desinfectante, alcohol, servilletas). Al trabajar con estudiantes de colegio, el colegio consideró necesario

además del permiso paterno para la participación de los jóvenes, el contar con transporte hacia los sitios de muestreo y con los seguros que los respaldara en estas actividades. Los adultos que participaron por su propia voluntad, cubrieron costos de transporte, alimentación y aseo. Aunque el costo de los muestreos depende del tipo de equipos usados, se describen los costos asociados con los kits para pruebas rápidas de la empresa LaMotte

Se desglosan los costos asociados, en el mercado internacional, con algunos de los materiales:

1. Costo de cada kit con capacidad para procesar 10 muestras, es de 47,49 USD
2. Costo de 1 balde para sacar agua, se consigue por menos de 3,80 USD
3. Costo de 1 par de anteojos industriales, es de 1,01 USD por unidad

Inversión inicial por equipo de 4 personas: $(47,49+3,80+4*1,01) = 55,33$ USD

4. Costo de las tabletas de reposición para 50 pruebas de 8 variables, es de 21,59 USD
5. Costo de par de guantes de vinilo es de 0,6 cts de USD por par
6. Costo de alcohol en gel, 0,11 USD por cada 30 ml

Costo recurrente/prueba (8 var.): $(21,59/50 + (0,6*4) + (0,11/6 * 4) = 2,90$ USD

Aunque los voluntarios donan su tiempo en labores de su interés, la sostenibilidad financiera de este proyecto, así como el adecuado aprovisionamiento, se recomienda no se delegue en ellos, sino que esto sea parte de la organización interesada en este tipo de vigilancia.

En el plano legal, se planteó ¿de qué manera pueden usarse los resultados del muestreo que es realizado por personas con poca experiencia en investigación, como si tales datos tuvieran el nivel de precisión requerido? y ¿cuáles recomendaciones serían necesarias antes de tomar decisiones legales apoyándose en tales datos?

La ciencia ciudadana no viene a ser plantear una suplantación de las facultades legales de las entidades. A nivel legal, solo debe interesar lo que los órganos competentes determinen, pero los datos a disposición en esta aplicación pueden usarse para solicitar o realizar estudios de mayor peso. La información que con este atlas se genera, puede servir para argumentar acerca de la necesidad de tomar determinadas acciones, como también puede servir para robustecer

una red de colaboradores, interesados por mejorar el estado de calidad de las aguas y recuperar el río como un activo ecológico atractivo para el disfrute de la sociedad. Hay que ser claros en que las decisiones legales se delegan en actores legales (sean entidades públicas o privadas) o en las decisiones que jueces competentes puedan derivar. La sensibilidad de los datos provenientes de kits para pruebas rápidas no pretende reemplazar la necesidad de corroborar hipótesis realizando pruebas de laboratorio que posean una mayor sensibilidad y credibilidad.

Desde el punto de vista social, se preguntó, ¿qué tipo de conocimientos puede extraer una comunidad, de un exhaustivo banco de datos acerca del comportamiento de la contaminación de sus cuerpos locales de agua?

En el transcurso de esta investigación se ha visto que el voluntariado ayuda a fortalecer la educación ambiental, tanto propia como ajena, por ejemplo, se adquieren o fortalecen conocimientos sobre las cuencas de su región, así como sobre parte del proceso de contaminación y de depuración (si los hay). También se destaca un mejor conocimiento sobre la estacionalidad de los procesos de contaminación y depuración.

Respecto a la gestión del agua, interesó ¿cómo se puede aprovechar un atlas de calidad de aguas para mejorar la gestión de este recurso?

El atlas de calidad de aguas sirve para darse una idea sobre el estado de la calidad de las aguas en un momento y lugar determinado, y de esta manera compararlo contra otros momentos u otros lugares y poder evaluar si los aspectos antropogénicos pueden ser responsables en alguna medida del estado de contaminación de las aguas y por ende el atlas sirve para socializar y planificar estrategias para la recuperación de la calidad en las mismas

En otro orden de cosas, a pesar de que diversos organismos internacionales fomentan la

medición de la calidad de aguas de ríos usando kits de pruebas rápidas, además del índice acá propuesto, hasta la fecha no se ha identificado la existencia de otro índice, usable para facilitar el análisis de las diferentes medidas mediante un solo valor sincrético. Se presume que esta carencia reduce el análisis y la adhesión de voluntarios en tales programas.

Para fomentar la adhesión a esta iniciativa de crear un atlas digital de calidad de aguas, se conversó con dos investigadores activos, que manejan colecciones de mediciones, pero no se logró involucrarlos como usuarios de esta aplicación. Uno arguyó que aún no ha publicado y que sus datos podrían ser usados por otras personas, que quizás logren extraer información a partir de ellos y no acreditarle la pertenencia de dichos datos. El otro dijo estar sumamente interesado, indicando iba a consignar a la responsable de los datos dentro de su grupo de investigadores para coordinar la migración de estos a esta plataforma, pero en la práctica tal evento nunca se llevó a cabo. En ambos casos, los datos que ellos manejan son por defecto de carácter público, es decir, que deberían suministrarse a quienes los deseen, pero en la realidad son datos de feudos que impiden colaborar.

Una vez presentados los alcances de este proyecto, se procede en este apartado a evaluar el cumplimiento de los objetivos originales y a proponer conclusiones desde algunas de las perspectivas contempladas en esta investigación.

4.2. Resultados y Conclusiones

Respecto al objetivo específico #1: Ofrecer una herramienta tecnológica que permita registrar, procesar y visualizar datos sobre calidad de agua en aquellos cuerpos de agua que estén siendo monitoreados.

Se diseñó, implementó y probó una solución tecnológica que satisface las necesidades de los distintos involucrados en el plan piloto (Fig. 7).

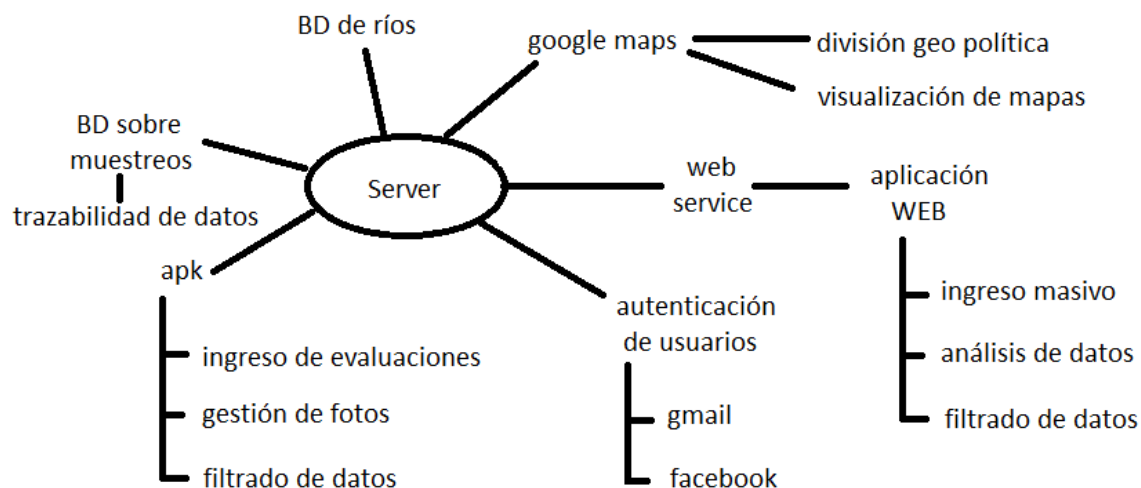


Figura 7. Herramienta tecnológica para el monitoreo de aguas

La herramienta se rediseñó a solicitud de la municipalidad de Curridabat, se usó para incorporar las mediciones de la calidad del agua que han realizado durante tres años en alrededor de 20 sitios de muestreo, también se trabajó con un grupo de 16 estudiantes de colegio quienes participaron de la recolecta de muestras de agua, la medición del valor expresado de los analitos, su registro (incluidas aquellas fotos de la cuenca o el cauce del río que se consideren de interés) y su posterior uso didáctico. La herramienta también se está usando con diversos grupos organizados que se han venido incorporando. Dicha herramienta permite monitorear controles de calidad en cuerpos de aguas superficiales, nacientes de agua fresca, nacientes de aguas termales y pozos. Debido a esto puede concluirse que este objetivo se ha cumplido satisfactoriamente.

Respecto al objetivo específico #2: Involucrar a grupos organizados en el monitoreo, registro, análisis de datos, distribución de resultados del comportamiento de la calidad en los cuerpos superficiales de agua fresca, para que realicen su labor de forma sistemática.

Se brindó la capacitación sobre el uso de la app⁶ a estudiantes. Se pudo mostrar la aplicación a otros grupos interesados, quienes esperan poder usar la app en un futuro cercano.

Tanto la aplicación web, como la aplicación móvil y los diversos materiales gestados, se han creado para ser de dominio público (anexos del 2 al 7). También se recibieron solicitudes de colaboración de diversos grupos.

Respecto al objetivo específico #3: Facilitar la participación de grupos organizados para la toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico.

Este objetivo se ha satisfecho completamente, ya que se han provisto herramientas y metodologías para el análisis de datos, que facilitan la toma de decisiones y que al menos en el sitio donde se hizo el plan piloto, se discutió acerca de los lugares más contaminados (aquellos más críticos de muestreo) y se propusieron alternativas de mitigación (acciones inmediatas para reducir la contaminación a un nivel requerido). Con el uso de la herramienta de generación de series de tiempo se identificaron sitios de muestreo idénticos, que pueden considerarse innecesarios porque los resultados observados no aportan valor alguno al análisis de la calidad, lo que indica que en ellos se gastan recursos económicos de manera injustificada. Este tipo de dinámica es de utilidad a aquellas instituciones que decidan monitorear sus aguas superficiales usando la herramienta desarrollada.

⁶ Se entiende por app la aplicación que se ejecuta sobre un equipo móvil, en este caso con sistema operativo Android. El archivo que se descarga e instala en el equipo móvil se denomina apk

Desde un punto de vista más holístico se presenta una serie de conclusiones generales

1. Desde la perspectiva **ciudadana**, la precisión con que se mide la calidad del agua usando kits rápidos es muy limitada. Se requiere mejorar las capacidades de los kits de medición rápida para tener un mejor monitoreo.
2. Desde la perspectiva de **salud pública**, se cuenta ahora con una herramienta adecuada para monitorear la calidad de las aguas superficiales, así como su comportamiento en el tiempo de monitoreo. También se han hecho las previsiones para relacionar geoespacialmente estas mediciones de calidad de aguas superficiales con otras mediciones relacionadas con la salud humana, usando para ello la distribución geopolítica y el concepto de centroide, que permite realizar búsquedas de casos en un radio de n kilómetros alrededor de un punto particular, lo que es de interés para la salud pública, ya que posibilita un análisis de salubridad con capacidad de asociar evidencias provenientes de diferentes campos y su dispersión en las zonas de interés.
3. Desde la perspectiva **gerencial**, la conceptualización de esta aplicación requirió de la coordinación entre la academia (UCR y colegio SAP), el gobierno local (Municipalidad de Curridabat), así como de diversos actores ciudadanos, donde la financiación de este trabajo ha combinado esfuerzos tanto públicos como privados y muy probablemente este sea el esquema a seguir en el futuro.
4. Desde la perspectiva **investigativa**, la aplicación generada respeta los derechos de autor de los investigadores, puesto que los datos compartidos se protegen para evitar accesos no autorizados. Solo se divulgan datos públicos sobre los sitios de muestreo, así como la información para localizar al propietario de dichos datos,

Todo lo anterior lleva a poder decir que se logrado a cabalidad el objetivo propuesto
Diseñar, implementar y ensayar un sistema computacional que permita el monitoreo del estado de los cuerpos superficiales del agua fresca en Costa Rica mediante el desarrollo de una red de colaboración que contemple la ciencia ciudadana.

Se invita al lector a observar con más detalle los resultados, que se presentan en los anexos del 2 al 6.

4.3. Posibles trabajos futuros

La amplitud del dominio acerca de la ciencia ciudadana en el monitoreo de la calidad de las fuentes superficiales de agua es tal, que han quedado múltiples ideas sin poderse ensayar, entre otras:

1. Implementar métodos de bajo costo y complejidad que permitan realizar el aforo manual de agua sin comprometer la seguridad de los participantes.
2. Implementar y computar un índice de contaminación hídrica cantonal que permita evaluar el impacto conjunto en la contaminación de las aguas, asociable con unidades geo políticas (como por ejemplo nivel provincial, cantonal o distrital), lo que permitirá realizar un ranking según el nivel de contribución a la contaminación de las aguas y con ello dirigir acciones hacia los sitios que nos garanticen un mayor impacto.
3. Proponer e implementar medidas que garanticen la sostenibilidad financiera del proyecto, ya que el mismo va a seguir requiriendo recursos para el desarrollo, mantenimiento y

servicios, así como para cooperar en el pago de costos recurrentes de algunas pruebas asociadas al sitio de muestreo.

4. Realizar un proyecto de acción social para promover el monitoreo de las aguas superficiales (que por ejemplo podría involucrar colaboración de personas provenientes de AyA, Asadas, Programa Bandera Azul, Federación de Gobiernos Municipales de la GAM, investigadores, ambientalistas y equipos dedicados a la gestión de cuencas).
5. Evaluar la posibilidad de incrementar la funcionalidad de la app, para que permita fungir como sistema de reporte de eventos hídricos.

5. Bibliografía:

Abbasi, T. & Abassi, S. (2011) Water quality indices based on bioassessment: The biotic indices. Journal of Water and Health. IWA Publishing 09.2. Disponible en el sitio: <http://jwh.iwaponline.com/content/ppiwajwh/9/2/330.full.pdf>

Abbasi, T. & Abassi, S. (2012) Water Quality Indices. Elsevier.

Ahuja, S. (2013). Monitoring Water Quality. Pollution Assessment, Analysis and Remediation | 978-0-444-59395-5 | Elsevier.

Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.

Alliance for Aquatic Resource Monitoring. (s.f.). Volunteer monitors are collecting baseline stream data and testing for potential impacts from shale gas extraction. Recuperado 13 septiembre, 2019, de <http://allarmwater.org/cwis438/websites/allarm/home.php>

Annan, K. (2003) Water-related diseases responsible for 80 per cent of all illnesses, deaths in developing world. Disponible en <http://www.un.org/press/en/2003/sgsm8707.doc.htm>

Asamblea Legislativa de Costa Rica (2017) Ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Disponible en el sitio https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2017/11/13/ALCA271_13_11_2017.pdf

Astorga, Y. (2008) Situación del Recurso Hídrico- Informe Preliminar. Decimocuarto Informe Estado De La Nación En Desarrollo Humano Sostenible. Disponible en: https://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/014/Recurso-hidrico-Astorga.pdf

- Au, J., Bagchi, P., Chen, B, Martinez, R., Dudley, S. & Sorger, G. (2000) Methodology for public monitoring of total coliforms, Escherichia coli and toxicity in water ways by Canadian high school students, March 2000, Pages 213-230
- Barco O. J., Ciaponi C., Papiri S. (2003) *Quantitative and qualitative analysis of storm water runoff in an urban experimental catchment* *Second World Wide Workshop for Young Environmental Scientist*, Paris, May 14-17.
- Bhardwaj, Jyotirmoy & Gupta, K & Gupta, Rajiv. (2015). A review of emerging trends on water quality measurement sensors. Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015. 10.1109/ICTSD.2015.7095919.
- Bhargava D.S. (1983). Use of a water quality index for river classification and zoning of Ganga River. Environmental Pollution (Series B), Vol. 6, pp. 51-67.
- Bhattacharjee Y. (2005) Citizen scientists supplement work of Cornell researchers. Science 308: 1402-1403. Disponible en el sitio: <https://science.sciencemag.org/content/308/5727/1402>
- Bonney, R, Cooper, C, Dickinson, J, Kelling, S, Phillips, T., Rosenberg, K., Shirk, J. (2009) Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. American Institute of Biological Science. BioScience 59: 977-98. Disponible en el sitio: <https://search.proquest.com/docview/216482710?pq-origsite=gscholar>
- Brans, E. de Haan, E., Nollkaemper, A. Rinzema, J. , (1997) The Scarcity of Water: Emerging Legal and Policy Responses. The Legal and Political Responses. Kluwer Law International. Sanders Instituut.

Brown, R.M., McLelland, N.J., Deininger, R.A. & Tozer, R.G. (1970) A Water Quality Index Do We Dare? Water & Sewage Works October:339-343.

Buytaert, W., Zulkafli, Z., Acosta, L., Alemie, Tilashwork, Bastiaensen, J., De Bievre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., Tilahun, S., Van Hecken, G., Zhumanova, M. (2014) Citizen Science in Hydrology and Water Resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. Frontiers in Earth Science. Hydrosphere. Disponible en el sitio:

https://www.researchgate.net/publication/266373436_Citizen_science_in_hydrology_and_water_resources_Opportunities_for_knowledge_generation_ecosystem_service_management_and_sustainable_development

Calvo, G.; Mora, J. (2012) Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. Tecnología en Marcha. Vol. 25 #4. ITCR

Calvo, G. (2012) Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. Tecnología en Marcha. Vol. 26 #2. ITCR

Calvo, G. (2015) Ríos y Fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Calvo L, Oscar (2010) Diseños mixtos de investigación. Compilación. Disponible en el sitio:

https://www.academia.edu/6931862/Dise%C3%B1os_mixtos_de_investigaci%C3%B3n

Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's manual. In: Canadian Environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of

- Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba . Disponible en el sitio: <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138>
- Carolina Biological Supply Company (2016) Earth Force® Standard Water Monitoring Kit. Disponible en el sitio: <http://www.carolina.com/environmental-science-water-quality/lamotte-green-complete-water-monitoring-kit/652568.pr>
- Climate Action Tracker. (2015). COP21 climate change summit reaches deal in Paris. Disponible en el sitio: <http://www.bbc.com/news/science-environment-35084374>
- Cohn, J. (2008) Citizen Science: Can volunteers do real Research. In Bioscience, Vol 58 (3). Disponible en el sitio: <https://academic.oup.com/bioscience/article/58/3/192/230689>
- Colin, F. (1997). Monitoring of Water Quality. The Contribution of Advanced Technologies | 978-0-08-043340-0 | Elsevier.
- Cortés, C. & Vapnik V. (1995) Support-Vector Networks. In Machine Learning, 20, 273-297 (1995). Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Central Pollution Control Board [CPCB] (2001) Environmental Atlas of India, New Delhi
- Friends of the Chicago River. (2019). Welcome to River Education. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://www.chicagoriver.org/programs/education-and-outreach/chicago-river-schools-network>
- CrowdHydrology (2010) Crowdsourced Water Level Data-Using technology to track water levels across the United States. <http://www.crowdhydrology.com/>
- Cude, C. (2001) Oregon Water Quality Index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. Journal of American Water Resources Association- Vol

37 # 1. Feb 2001. Disponible en el sitio:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x>

Cunha, D; Marques, J.; Resende, J.; De Falco, P.; DE Souza, C. & Loiselle, S. (2017)
Citizen science participation in research in the environmental sciences: key factors
related to projects'success and longevity. En Acad. Bras.
Ciênc. vol.89 no.3 supl.0 Rio de Janeiro 2017 Epub June 29, 2017

Departamento de Agricultura de Estados Unidos (2019) Irrigation & Water Use. Disponible
en el sitio: [https://www.ers.usda.gov/topics/farm-practices-
management/irrigation-water-use/](https://www.ers.usda.gov/topics/farm-practices-management/irrigation-water-use/)

Diamandis, P.; (2012) Abundance: The Future Is Better than You Think. New York :Free
Press.

Dunnette, D. A. (1979) A Geographically Variable Water Quality Index Used in Oregon. En
Journal of the Water Pollution Control Federation, v51 n1 p53-61 Enero 1979

EarthEcho International. (2019). EarthEcho Water Challenge. Recuperado 13 septiembre,
2019, de <http://www.worldwatermonitoringday.org/>

Escher, B., Leusch, F. (2011) Tools in Water Quality Assessment. Disponible en el sitio:
[https://www.iwapublishing.com/books/9781843393689/bioanalytical-tools-water-
quality-assessment](https://www.iwapublishing.com/books/9781843393689/bioanalytical-tools-water-quality-assessment)

Figuerola, N. (2013) El desarrollo y las políticas públicas. En Polis, 33 / 2012. Disponible
en : <http://journals.openedition.org/polis/8580>

Food and Agriculture Organization [FAO] (2016) Chapter 2 - Water quality monitoring,
standards and treatment. Disponible en el sitio:
<http://www.fao.org/3/X5624E/x5624e05.htm>

Food and Drug Administration [FDA] (2013) Guidance for Industry - Bioanalytical Method Validation - DRAFT GUIDANCE. Disponible en el sitio:

<https://www.fda.gov/files/drugs/published/Bioanalytical-Method-Validation-Guidance-for-Industry.pdf>

Frey, D (1975) Biological Integrity of Water-an Historical Approach in The Integrity of Water a symposium.

Gartner, Lee Ltd (2006) A sensitivity analysis of the Canadian Water Quality Index. Disponible en el sitio:

https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/pn_1355_wqi_sensitivity_analysis_rpt.pdf

Gura, T. (2013) Citizen science: Amateur experts. Nature 496:259-261. Doi: 10.1038/nj7444-259a

Haklay, M. (2013) Citizen Science and Volunteered Geographic Information i overview and typology of participation in Sui, D.Z., Elwood, S. and M.F. Goodchild (eds.), 2013. Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice . Berlin: Springer. pp 105-122 DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2_7

Henning. (2015) Newsflo joins Elsevier to track media coverage for researchers.

Disponible en el sitio: <https://www.elsevier.com/connect/newsflo-joins-elsevier-to-track-media-coverage-for-researchers>

ICEX Instituto Español de Comercio Exterior (2011) El Sector Eléctrico en Costa Rica. Disponible en el sitio:

<http://www.asamblea.go.cr/sd/Documents/referencia%20y%20prestamos/BOLETIN ES/BOLETIN%2001/publicaciones%20recomendadas/18093.%20%20El%20sector%20el%C3%A9ctrico%20en%20Costa%20Rica.pdf>

Horton, R.K. (1965) An Index Number System for Rating Water Quality. Journal of the Water Pollution Control Federation, 37, 300-306. Disponible en el sitio: [http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1020268](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1020268)

Instituto de Acueductos y Alcantarillados [AyA] (2002) Análisis sectorial Agua Potable y Saneamiento en Costa Rica. Disponible en el sitio: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/An%C3%A1lisis%20sectorial%20agua%20potable%20y%20saneamiento%20de%20Costa%20Rica%20Informe%20final%202002.pdf>

Iowa's Water Ambient Monitoring Program [IWAMP] (2006) Why a Water Quality Index?. Disponible en el sitio: <http://www.ihr.uiowa.edu/igs/publications/uploads/wfs-2006-08.pdf>

Irwin, A. (1995) Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development. ED Routhledge, New York.

Kachroud ,M.; Trolard ,F.; Kefi , M.; Jebari,S. & Bourri, G. (2019) Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature. Water 2019, 11(2), 361; doi:10.3390/w11020361

Kansas State University. (2013, 18 diciembre). Citizen Science Water Quality Mapping A Natural Resources & Environmental Sciences Capstone Project. Recuperado 13 septiembre, 2019, de https://www.k-state.edu/nres/capstone/NRES_F13_CitizenScience_FinalDraft.pdf

Kisjes, I. (2015). The evolution of open science – how digitization is transforming research. Disponible en el sitio: <https://www.elsevier.com/connect/the-evolution-of-open-science-how-digitization-is-transforming-research>

- Kunz, R. G. (2009) Environmental Calculations: A Multimedia Approach. John Wiley & Sons Inc. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470925386.app4>
- LaMotte (2016) Environmental Science Educational Products. Disponible en: http://www.lamotte.com/images/pdf/catalogs/environmental_education.pdf
- Landwehr, J. M. (1979), A statistical view of a class of water quality indices, Water Resour. Res., 15(2), 460-468, doi: 10.1029/WR015i002p00460. Disponible en : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/WR015i002p00460>
- Lenzner, R. (2011). The Demand for Water Will Increase Five Times By 2050 - Forbes. Disponible en el sitio: <https://www.forbes.com/sites/robertlenzner/2011/07/23/the-demand-for-water-will-increase-five-times-by-2050/#482e5679706d>
- López, N. (2013). Más de 11.000 personas en Guanacaste y San Carlos siguen tomando agua contaminada con arsénico. Disponible en el sitio: http://www.nacion.com/nacional/Guanacaste-San-Carlos-contaminada-arsenico_0_1350265024.html
- Lovett, G., Burns, D., Driscoll, C., Jenkins, J., Mitchell, M., Rustand, L., Shanley, J., Likens, G. & Haeuber, R. (2007) Who needs environmental monitoring?. Front Ecol Environ 2007, 5(5), 253-260. Disponible en el sitio: [https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1540-9295\(2007\)5%5B253:WNEM%5D2.0.CO%3B2](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/1540-9295(2007)5%5B253:WNEM%5D2.0.CO%3B2)
- Michaud, J. (1991). A Citizen's Guide to Understanding and Monitoring Lakes and Streams | Water Quality Program | Washington State Department of Ecology. Disponible en el sitio: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/SummaryPages/94149.html>

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica [MINAE](2006) Canon por concepto de aprovechamiento de aguas. N° 32686. Disponible en el sitio:

<http://www.sinac.go.cr/ES/normativa/Decretos/Canon%20por%20concepto%20de%20aprovechamiento%20de%20aguas%20Decreto%20Ejecutivo%2032868.pdf>

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica [MINAE] (2007a) Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. N° 33601-MINAE-S, Gaceta #55. Disponible en el sitio: <http://aresep.go.cr/normativa/868-reglamento-de-vertido-y-reuso-de-aguas-residuales-22-3-2007>

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica [MINAE] (2007b) Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. N° 33903-MINAE-S. Gaceta #178 Disponible en el sitio: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci%C3%B3n%20y%20clasificaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf>

Ministerio de Salud de Costa Rica [MS] (2002). Agua Potable y Saneamiento de Costa Rica. Análisis sectorial. Ministerio de Salud de Costa Rica. Disponible en el sitio: https://www.ministeriodesalud.go.cr/sobre_ministerio/do/productos/V_Cont_Abr09_Nov09/Informe%20final%20V%20etapa-2/Proyectos%20adicionales/Anexo%202%20Productos/Anexo%202.A%20productos/Anexo%202.A.4/Base%20Datos%20ambito%20Agua/Documentos%20Nacionales/asaps/asaps.pdf

Ministerio de Salud de Costa Rica [MS] (2005) Reglamento para la Calidad del Agua Potable. N° 32327-S Ministerio de Salud de Costa Rica. Gaceta #170 Disponible en el sitio: https://www.ministeriodesalud.go.cr/gestores_en_salud/comision_agua_segura/legislacion/CAS_reglamento_calidad_agua_potable.pdf

- Mitchel, A; Gottfried, J & Funk, C. (2017) Citizen science, science-related hobbies and participation in informal science activities. In Science News and Information Today, Pew Research Center. 20 Set, 2017. Disponible en el sitio:
<https://www.journalism.org/2017/09/20/citizen-science-science-related-hobbies-and-participation-in-informal-science-activities/>
- Mladenović -Ranisavljević, I. & Zerajic, Stanko. (2017). Comparison of different models of water quality index in the assessment of surface water quality. International Journal of Environmental Science and Technology. 15. 1-10. 10.1007/s13762-017-1426-8.
- Mora, D. (2013). Agua para consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica: Situación actual y expectativas-Período 2001-2020. Disponible en el sitio:
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Agua%20para%20consumo%20humano%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20excretas%20en%20Costa%20Rica%20situaci%C3%B3n%20actual%20y%20expectativas.pdf>
- Naciones Unidas (2005) Decenio internacional para la acción El agua fuente de vida 2005-2015. Disponible en el sitio: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>
- Naciones Unidas (2012) The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk (Vol. 1), Knowledge Base (Vol. 2) and Facing the Challenges (Vol. 3). Disponible en :
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>
- Naciones Unidas (2015) Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe de 2015. Disponible en: https://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- National Aeronautics and Space Administration [NASA] (2019) Water Shortages in India. Earth Observatory. Disponible en el sitio:
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/145242/water-shortages-in-india>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014a). Stream Discovery - Introduction to LaMotte Low Cost Water Testing Kit [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/y2K91cPpY-M>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014b). Stream Discovery - Temperature Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/pEePo6s41EQ>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014c). Stream Discovery - Dissolved Oxygen Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/qv4BZF3VJZ8>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014d). Stream Discovery - Turbidity Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/lc9H01TNmLg>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014e). Stream Discovery - Nitrate Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de https://youtu.be/4NmhC_o9Piw

National Great Rivers Research and Education Center. (2014f). Stream Discovery - Phosphate Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/pQa1PmiclWY>

National Great Rivers Research and Education Center. (2014g). Stream Discovery - pH Test [Archivo de vídeo]. Recuperado 18 septiembre, 2019, de <https://youtu.be/uvOus9rYH3w>

National Water Quality Monitoring Council. (s.f.). Volunteer Monitoring. Recuperado 13 septiembre, 2019, de <https://acwi.gov/monitoring/vm/resources.html>

New Water Culture [NWC] (2015). New Water Culture Disponible en el sitio:

<http://www.newwaterculture.org/>

Olmos, L. (2018) ¿Qué determina la Tarificación Internacional del Agua Residencial?.

Aquae Papers #9. Disponible en el sitio:

<https://www.fundacionaquae.org/aquaeteca/aquae-papers/aquae-papers-9/>

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2004) Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Disponible en el sitio:

https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/

Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2002) Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Perú. Disponible en el sitio:

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/075%20vigilanciaycontrol_calidaddeagua/cepis_guia_vigilanciaycontrol_calidaddeagua.pdf

Organización Panamericana de la Salud (2003) Calidad del agua potable en Costa Rica:

Situación actual y perspectivas / Organización Panamericana de la Salud, Ministerio de Salud . -- San José, C.R. : OPS, 2003. 40 p. ; 28 cm. ï (Serie Análisis de Situación de Salud; no. 13)

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (201)

<http://www.globalwaterforum.org/2012/05/21/water-outlook-to-2050-the-oecd-calls-for-early-and-strategic-action/>

Ott, W. (1978) Environmental Indices Theory and Practice. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, MI.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] (2017) Participación política e inclusión. Disponible en:

<http://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/ourwork/democratic-governance/political-participation-and-inclusion.html>

Ramírez, F. (2013) La CCSS investiga causas de males de riñón en Guanacaste. Semanario Universidad, 30 enero 2013. Disponible en el sitio: <https://semanariouniversidad.com/pais/la-ccss-investiga-causas-de-males-de-rin-en-guanacaste/>

Scientific American (2013) World Water Monitoring Challenge. Citizen scientists can join the World Water Monitoring Challenge to test the quality of their waterways, share their findings and protect our most precious resource. Disponible en el sitio: <https://www.scientificamerican.com/citizen-science/world-water-monitoring-challenge/?redirect=1> Semanario Universidad (2019) Costa Rica enfrentó 134 conflictos por el agua en una década, 27 de marzo de 2019. Disponible en el sitio: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/03/27/costa-rica-enfrento-134-conflictos-por-el-agua-en-una-decada.html>

Serrano, Lidia (2013) Aguas dulces y derecho internacional: El agua como bien común y como derecho humano desde la perspectiva del derecho sostenible (Tesis de doctorado). Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, España

Simonite, T. (2013) The decline of Wikipedia. MIT Technology Review. Disponible en el sitio: <https://www.technologyreview.com/s/520446/the-decline-of-wikipedia/>

Springer, M. 1998. Claves taxonómicas para la identificación de organismos macroinvertebrados acuáticos, identificados en Costa Rica. 100 p.

Springer, M., Ramírez, A. & Hanson, P. (2010) Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I
Revista de Biología Tropical. Universidad de Costa Rica Vol 58 (Suppl. 4)

Solanes, M; Gonzalez-Villareal, F. (1999) The Dublin Principles for Water as Reflected in a Comparative Assessment of Institutional and Legal Arrangements for Integrated Water Resources Management. TAC Background Papers #3. Disponible en el sitio: [http://www.gwp.org/Global/ToolBox/Publications/Background%20papers/03%20The%20Dublin%20Principles%20for%20Water%20as%20reflected%20in%20a%20Comparative%20Assessment%20of%20Institutional%20and%20Legal%20Arrangements%20for%20IWRM%20\(1999\).pdf](http://www.gwp.org/Global/ToolBox/Publications/Background%20papers/03%20The%20Dublin%20Principles%20for%20Water%20as%20reflected%20in%20a%20Comparative%20Assessment%20of%20Institutional%20and%20Legal%20Arrangements%20for%20IWRM%20(1999).pdf)

Thukral, A.K.; Bhardwaj, Renu & Rupinder Kaur. (2005) Water Quality Indices. Disponible en el sitio: www.researchgate.net/profile/Ashwani_Thukral/publication/257650627_Water_Quality_Indices/links/0deec5258ff55850ad000000/Water-Quality-Indices&usg=AOvVaw0iitvixpfbgtTjrvvuUtjU

Thurman, Q., & Mc Garrell, E. (2015). Community Policing in a Rural Setting | 978-1-58360-534-9 | Elsevier.

Unesco (1998) Definition of freshwater resources. A New Appraisal and Assessment for the 21st Century. [Disponible en el sitio: http://documentos.dga.cl/PHI710.pdf](http://documentos.dga.cl/PHI710.pdf)

United Nations. (1977). Report of the United Nations Water Conference 14-25 March. Recuperado de https://www.internationalwaterlaw.org/bibliography/UN/Mar_del_Plata_Report.pdf

United States Environmental Protection Agency US-EPA (2005) Technologies and Techniques for Early Warning System to Monitor and Evaluate Drinking Water Quality: A State of the Art Review. Office of Science and Technology Health and Ecological Criteria Division

United Nations Environment Program [UNEP] (2012) Planning of Water Quality Monitoring Systems Technical Report. Recuperado de

http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/chy/chy14/documents/ms/WQ_Tech_Report_FINALDRAFT_24-10-2012.pdf

United Nations Environment Program [UNEP] (2016a) Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Program. Disponible en el sitio: http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/global_drinking_water_quality_index.pdf

United Nations Environment Program [UNEP] (2016b) Water Quality Outlook. United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System (GEMS)/Water Programme. Disponible en el sitio: https://issuu.com/christinadianpamionova/docs/water_quality_outlook

Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C., Davies, P. M. (2010a) Rivers in Crisis-Global Water Insecurity for Humans and Biodiversity. Southern Cross University. Disponible en el sitio:

Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C., Davies, P. M. (2010b) Global threats to human water security and river biodiversity. Nature 467 Vol 467. McMillan Publishers Limited. Disponible en el sitio: https://www.researchgate.net/publication/47743050_Global_Threats_to_Human_Water_Security_and_River_Biodiversity

World Bank (2013). Why is Water Critical for Ending Poverty? Disponible en el sitio: <http://www.worldbank.org/en/news/video/2013/03/20/why-water-critical-ending-poverty>

World Bank. (2016) Crowdsourcing Water Quality Data : A Conceptual Framework. World Bank, Washington, DC. © World Bank. Recuperado el 13 de setiembre de 2019, de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25755> License: CC BY 3.0 IGO

World Health Organization. (2003). The Right to Water. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/en/righttowater.pdf

World Health Organization/United Nations Children's Fund (WHO/UNICEF) Joint Monitoring Program (JMP) for Water Supply and Sanitation. (2015). Data Updates. Disponible en el sitio: <http://www.wssinfo.org/country-collaborations/data-updates/>

World Water Assessment Programme (WWAP) (2016) Indicators. Disponible en el sitio: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/indicators/>

Yesson, C., Brewer, P. W., Sutton, T., Caithness, N., Pahwa, J. S., Burgess, M., & Culham, A. (2007). How Global Is the Global Biodiversity Information Facility? PLoS ONE, 2(11), e1124. Disponible en el sitio: doi.org/10.1371/journal.pone.0001124

Zoouniverse: What is Zoouniverse (n.d.). Retrieved December 2, 2015. Disponible en el sitio: <https://www.zoouniverse.org/>

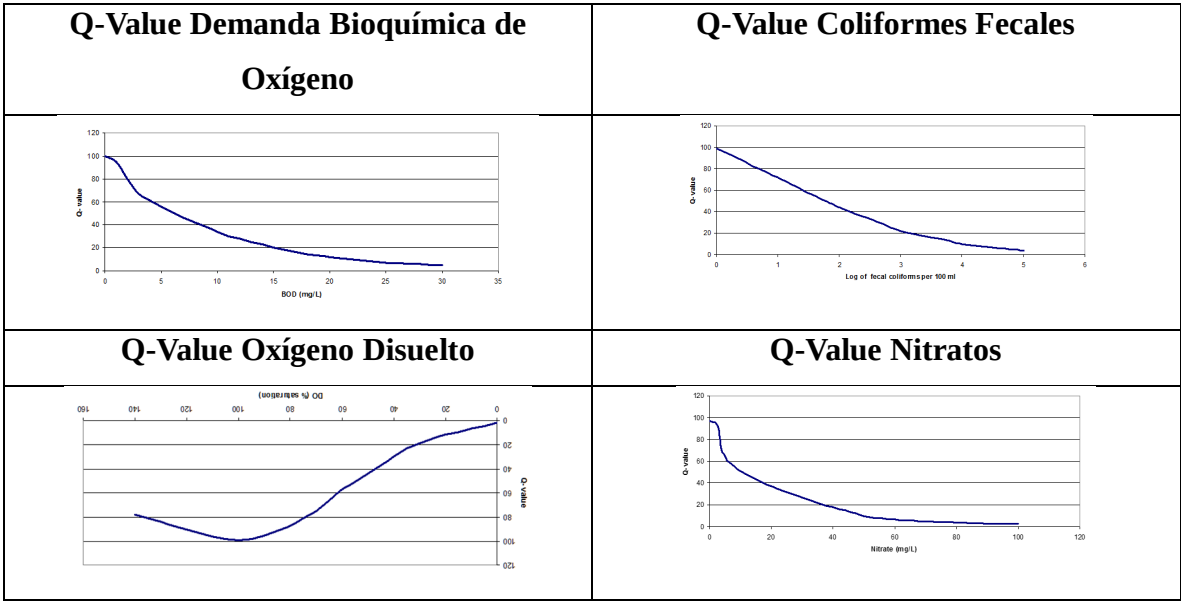
Anexo 1. Normalización de valores para el cálculo del índice de calidad de agua según la NSF

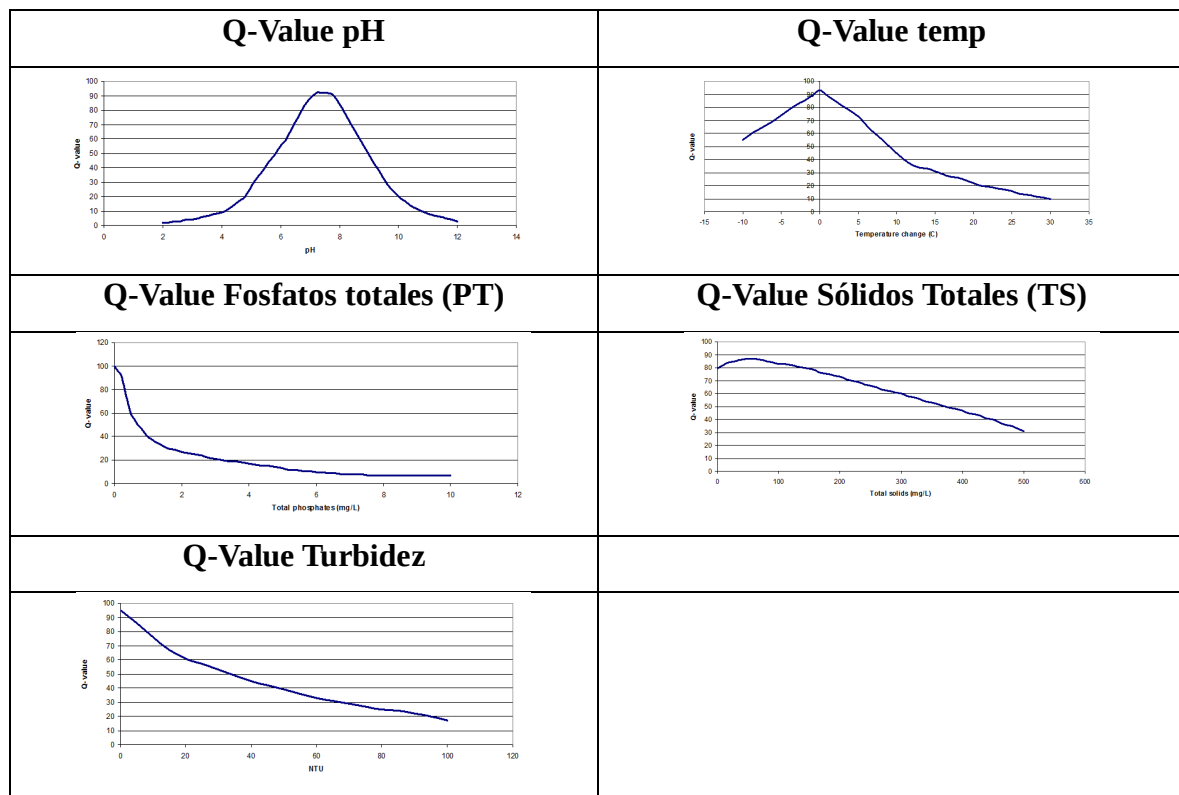
Como ya se indicó, el índice de calidad de agua de la NSF se define mediante la siguiente fórmula:

$$NSFWQI = \sum (QValue(result_i) * weightFactor_i)$$

Donde el *QValue* corresponde a una función de normalización, usada para permitir la comparación del valor de cada parámetro, que puede ser expresado de varias formas. Por ejemplo, la Asociación de amigos del Río Chicago usa curvas de distribución (tabla 17) [Chicago River Schools Network, 2019]. Otra forma de calcular el valor Q es mediante una tabla de dispersión de valores según se desglosa (Figura 8) y una última acá contemplada es mediante tablas de Thukral et al (Tablas 18-20)

Tabla 17. Cálculo del Q_ Value según curvas de dispersión





Cálculo del Q_Value según tablas de Ott et al (1978)

DO (% Saturation)	Q-Value	E.Coli (colonies/100mL)	Q-Value	pH (units)	Q-Value	BOD 5 (mg/L DO)	Q-Value
0	0	0-1	98	<2	0	0	96
10	8	2	89	2	2	1	92
20	13	5	80	3	4	2	80
30	20	10	71	4	8	2.5	73
40	30	20	63	5	24	3	66
50	43	50	53	6	55	4	58
60	56	100	45	7	90	5	55
70	77	200	37	7.2	92	7.5	44
80	88	500	27	7.5	93 (max)	8	40
85	92	1,000	22	7.7		10	33
90	95	2,000	18	8	82	12.5	26
95	97.5	5,000	13	8.5	67	15	20
100	99	10,000	10	9	47	17.5	16
105	98	20,000	8	10	19	20	14
110	95	50,000	5	11	7	22.5	10
120	90	100,000	3	12	2	25	8
130	85	>100,000	2	>12	0	27.5	6
140	78					30	5
>140	50					>30	2

Change in Temp. (°C)	Q-Value	Total Phosphate (mg/L P)	Q-Value	Nitrate-N (mg/L NO ₃ -N)	Q-Value
-10	56	0	99	0	98
-7.5	63	0.05	98	0.25	97
-5	73	0.1	97	0.5	96
-2.5	85	0.2	95	0.75	95
-1	90	0.3	90	1	94
0	93 (max)	0.4	78	1.5	92
1	89	0.5	60	2	90
2.5	85	0.75	50	3	85
5	72	1	39	4	70
7.5	57	1.5	30	5	65
10	44	2	26	10	51
12.5	36	3	21	15	43
15	28	4	16	20	37
17.5	23	5	12	30	24
20	21	6	10	40	17
22.5	18	7	8	50	7
25	15	8	7	60	5
27.5	12	9	6	70	4
30	10	10	5	80	3
		>10	2	90	2
				100	1
				>100	1

Transparency (cm)	Turbidity (NTU)	Q-Value
Reading from Tube	Use in Database	
150	0	97
120	5	84
90	10	76
>60 (turb tube)	<15 (turb tube)	70
60	15	68
30	20	62
27.5	25	57
25	30	53
22.5	35	48
20	40	45
15	50	39
12.5	60	34
10	70	28
7.5	80	25
5	90	22
2.5	100	17
<2.5	>100	5

Figura 8. Tablas de dispersión del Q_Value

Cálculo del Q_Value según tablas de Thukral et al (2005)

Tabla 18. Cálculo del Q_Value para Coliformes, DBO y OD

Fecal coliforms (per 100 ml)	Log ₁₀ FC	Q	BOD-5 (mg/L)	Q	Dissolved oxygen (% sat)	Q
1	0	99	0	100	0	2
2	0.30103	91	1	95	5	5
3	0.477121	86	2	80	10	7
4	0.60206	82	3	67	15	10
5	0.69897	80	4	61	20	12
6	0.778151	78	5	56	25	15
7	0.845098	76	6	51	30	19
8	0.90309	74	7	46	35	23
9	0.954243	73	8	42	40	30
10	1	72	9	38	45	37
20	1.30103	63	10	34	50	44
30	1.477121	58	11	30	55	51
40	1.60206	55	12	28	60	57
50	1.69897	52	13	25	65	66
60	1.778151	50	14	23	70	75
70	1.845098	48	15	20	75	81
80	1.90309	47	16	18	80	87
90	1.954243	45	17	16	85	91
100	2	44	18	14	90	95
200	2.30103	37	19	13	95	98
300	2.477121	34	20	12	100	99
400	2.60206	31	21	11	105	98
500	2.69897	29	22	10	110	96
600	2.778151	27	23	9	115	93
700	2.845098	25	24	8	120	90
800	2.90309	24	25	7	125	87
900	2.954243	23	26	7	130	84
1000	3	22	27	6	135	81
2000	3.30103	18	28	6	140	78
3000	3.477121	16	29	5	>140	50
4000	3.60206	15	30	5		
5000	3.69897	14	>30	2		
6000	3.778151	13				
7000	3.845098	12				
8000	3.90309	11				
9000	3.954243	11				
10000	4	10				
20000	4.30103	8				
30000	4.477121	7				
40000	4.60206	6				
50000	4.69897	6				
60000	4.778151	5				
70000	4.845098	5				
80000	4.90309	5				
90000	4.954243	4				
100000	5	4				
>100000		2				

Tabla 19. Cálculo del Q_Value para pH, cambio de Temp y Turbiedad

pH	Q	Temp. change (C)	Q	Turbidity (NTU)	Q
<2	0	-10	55	0	95
2	2	-9	59	5	88
2.2	2	-8	63	10	76
2.4	3	-7	66	15	67
2.6	3	-6	70	20	61
2.8	4	-5	74	25	57
3	4	-4	78	30	53
3.2	5	-3	82	35	49
3.4	6	-2	85	40	45
3.6	7	-1	89	45	42
3.8	8	0	93	50	39
4	9	1	89	55	36
4.2	11	2	85	60	33
4.4	14	3	81	65	31
4.6	17	4	77	70	29
4.8	20	5	73	75	27
5	27	6	67	80	25
5.2	33	7	61	85	24
5.4	38	8	56	90	22
5.6	44	9	50	95	20
5.8	49	10	45	100	17
6	55	11	40	>100	5
6.2	60	12	36		
6.4	66	13	34		
6.6	75	14	33		
6.8	83	15	31		
7	88	16	29		
7.2	92	17	27		
7.4	92	18	26		
7.6	92	19	24		
7.8	90	20	22		
8	84	21	20		
8.2	77	22	19		
8.4	70	23	18		
8.6	63	24	17		
8.8	56	25	16		
9	49	26	14		
9.2	42	27	13		
9.4	36	28	12		
9.6	29	29	11		
9.8	24	30	10		
10	20				
10.2	17				
10.4	14				
10.6	12				
10.8	10				
11	8				
11.2	7				
11.4	6				
11.6	5				
11.8	4				
12	3				
>12	0				

Tabla 20. Cálculo del Q_Value para Sólidos totales y nitrato

Total solids (mg/L)	Q	Total phosphate (mg/L)	Q	Nitrate (mg/L)	Q
0	79	0	100	0	97
10	82	0.1	98	1	96
20	84	0.2	92	2	95
30	85	0.3	81	3	90
40	86	0.4	71	4	70
50	87	0.5	60	5	65
60	87	0.6	55	6	60
70	86	0.7	50	7	58
80	85	0.8	47	8	56
90	84	0.9	43	9	53
100	83	1	40	10	51
110	83	1.2	38	12	48
120	82	1.4	33	14	45
130	81	1.6	30	16	42
140	80	1.8	29	18	39
150	79	2	27	20	37
160	78	2.2	26	22	35
170	76	2.4	25	24	33
180	75	2.6	24	26	31
190	74	2.8	22	28	29
200	73	3	21	30	27
210	71	3.2	20	32	25
220	70	3.4	19	34	23
230	69	3.6	19	36	21
240	67	3.8	18	38	19
250	66	4	17	40	18
260	65	4.2	16	42	16
270	63	4.4	15	44	15
280	62	4.6	15	46	13
290	61	4.8	14	48	12
300	60	5	13	50	10
310	58	5.2	12	52	9
320	57	5.4	12	54	8
330	56	5.6	11	56	8
340	54	5.8	11	58	7
350	53	6	10	60	7
360	52	6.2	10	62	6
370	50	6.4	9	64	6
380	49	6.6	9	66	6
390	48	6.8	8	68	5
400	47	7	8	70	5
410	45	7.2	8	80	4
420	44	7.4	8	90	3
430	43	7.6	7	100	3
440	41	7.8	7	>100	1
450	40	8	7		
460	38	9	7		
470	36	10	7		
480	35	>10	2		
490	33				
500	31				
>500	20				

Anexo 2. Registro de datos

Las mediciones acerca de la calidad del agua pueden incluirse en este sistema de dos maneras: ingreso de mediciones individuales o ingreso de conjuntos de datos. Las mediciones individuales se pueden registrar mediante una app creada para dispositivos móviles que usen el sistema operativo android, donde el sistema controla el tipo de privilegios de los voluntarios y a aquellos usuarios debidamente autenticados, se les permite ingresar -entre otros- el valor de los parámetros físicos, químicos o biológicos, así como fotografías del sitio de muestreo que pueden asociarse con palabras claves. A continuación, se muestran las interfaces para la autenticación de usuarios y otras usadas para el ingreso de algunos de estos datos.

La autenticación se puede hacer de tres formas: usando la cuenta de Gmail o de Facebook del usuario o sino dando una cuenta de correo, esperar a que se le mande un ñtokenò e introducirlo como mecanismo de validación asociando al usuario con la cuenta específica (fig. 9).

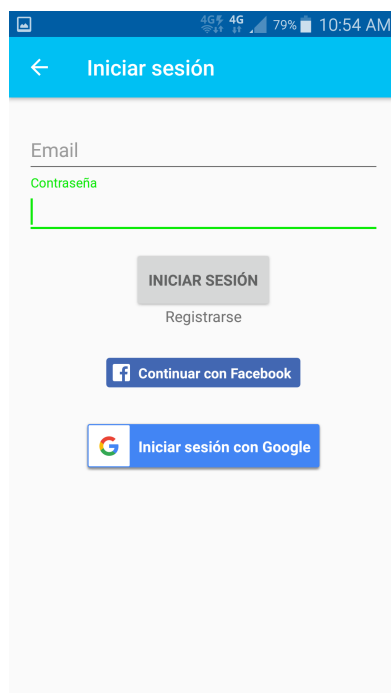


Figura 9. Autenticación de voluntarios

El ingreso de los datos puede hacerlo un usuario autenticado que ya ha iniciado una sesión, quien luego puede ir eligiendo los datos a ingresar, por ejemplo, el nombre del río, el valor de los parámetros físico-químicos que desee, el tipo de índice que desea generar y que determina el conjunto mínimo de parámetros a ingresar (ver Fig. 10), también puede ingresar hasta 4 fotos del sitio de muestreo junto con tres palabras reservadas que use como descriptores de cada foto (ver Fig. 11).

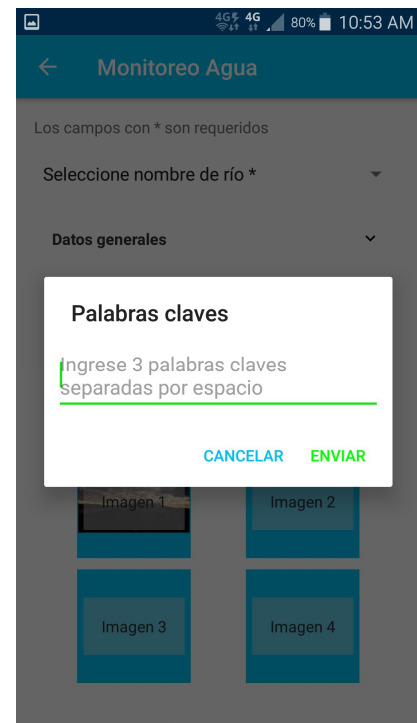
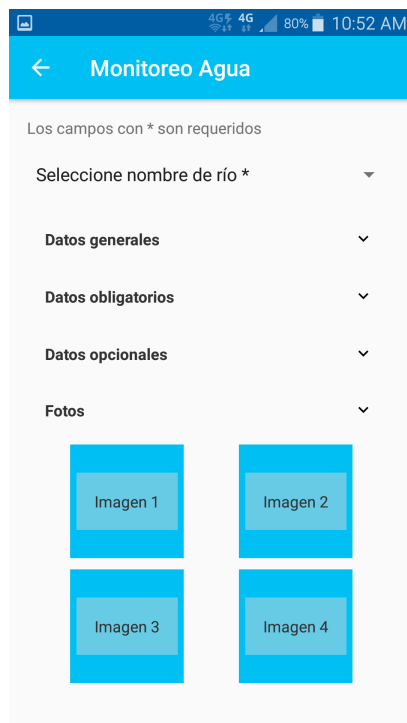


Figura 10. Inserción de muestra. Figura 11. Inserción de palabras clave en fotos

Por otra parte, el ingreso de conjuntos de datos se debe realizar vía web, usando una aplicación creada para el registro masivo de datos, que permite aprovechar toda colección de muestras de aguas geo referenciadas y de la cual se posean los derechos del autor para compartirse. A continuación, se muestra la interfaz para importar conjuntos de datos (Fig.12), donde las cajas verdes corresponden al nombre de los parámetros que el usuario maneja y las azules al nombre de los campos en la colección del sistema, así que, para evitar confusiones, solo se debe arrastrar cada caja verde sobre la correspondiente caja azul (esto le permite relacionar al usuario los parámetros nominados de manera distinta en su colección, pero hace que una vez pareados tengan una misma interpretación). Esta herramienta se ideó para aprovechar los múltiples datos existentes y dispersos.

Pareo

Arrastre los elementos de la derecha con su correspondiente de la izquierda.

institucion email_colecto kit estacion nombre fecha color I-Hol %O2 DBO NH4 plsPSO plsDBO plsNH4 I-Hol2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">usuario</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">temp_agua</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">velocidad_agua</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">area_cause_rio</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">PO2</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">DBO</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">NH4</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">DQO</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">EC</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">PO4</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">GYA</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">SD</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Ssed</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">SST</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">SAAM</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">T</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Aforo</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">ST</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">CF</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">pH</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Fosfato</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Nitrato</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Turbidez</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Sol_totales</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">nombre_institucion</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">nombre_estacion</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">fecha</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">kit_desc</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">lat</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">lng</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">alt</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">cod_prov</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">cond_cant</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">cod_dist</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">cod_rio</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">Color</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">DBO</td> <td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px 5px;">NH4</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	usuario	temp_agua	velocidad_agua	area_cause_rio	PO2	DBO	NH4	DQO	EC	PO4	GYA	SD	Ssed	SST	SAAM	T	Aforo	ST	CF	pH	Fosfato	Nitrato	Turbidez	Sol_totales	nombre_institucion	nombre_estacion	fecha	kit_desc	lat	lng	alt	cod_prov	cond_cant	cod_dist	cod_rio	Color	DBO	NH4		
usuario	temp_agua	velocidad_agua	area_cause_rio																																						
PO2	DBO	NH4	DQO																																						
EC	PO4	GYA	SD																																						
Ssed	SST	SAAM	T																																						
Aforo	ST	CF	pH																																						
Fosfato	Nitrato	Turbidez	Sol_totales																																						
nombre_institucion	nombre_estacion	fecha	kit_desc																																						
lat	lng	alt	cod_prov																																						
cond_cant	cod_dist	cod_rio	Color																																						
DBO	NH4																																								

Figura 12. Pareo de datos USR-Aplicación

Anexo 3. Procesamiento de datos

Aun cuando el término "procesamiento de datos" involucra una diversidad de resultados, se enfocan en este apartado solo 3 tipos de procesos:

- la selección de datos a analizarse
- la selección y cálculo del índice de calidad de aguas
- la generación de series de tiempo con los datos de interés para el usuario

Los tres procesos anteriores se describen brevemente a continuación

Selección de los datos a usar en los diferentes procesos, sean analíticos o de visualización

Tanto en la versión móvil, como en la versión web se cuenta con facilidades para seleccionar datos, por ejemplo. Por ejemplo, en las figuras de la 13 a la 16, se muestra la interfaz móvil creada para la selección de datos, así como para evidenciar el resultado al filtrar por el tipo de índice.

4G 50% 4:44 PM

Monitoreo Agua

* Los campos vacíos se omiten en el filtro

Seleccione filtros

Usuario

Nombre de Institución

Nombre de Estación

Dirección

7-3-2017 **FECHA**

Fecha Final **FECHA**

Índice NSF

Kit

FILTRAR

Water monitoring

POI's Name

Address

From **DATE**

To **DATE**

Index

Kit

POI's type =

POIs sin índice

Pozos

Punto de mitigación

Nacientes

Aguas Termales

DATA SELECTION

Figura 13. Filtrado de datos

Figura 14. Filtrado de datos por tipo de punto

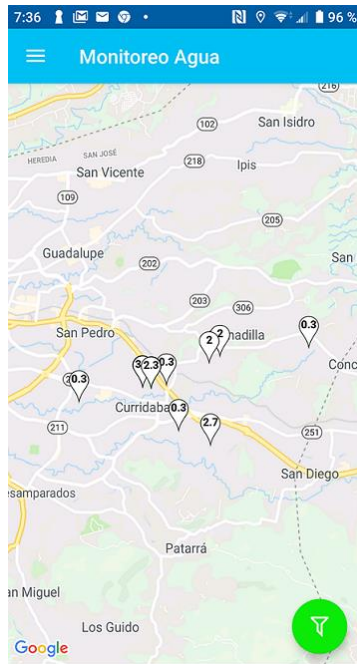


Figura 15. Mapa calidad QTWQI

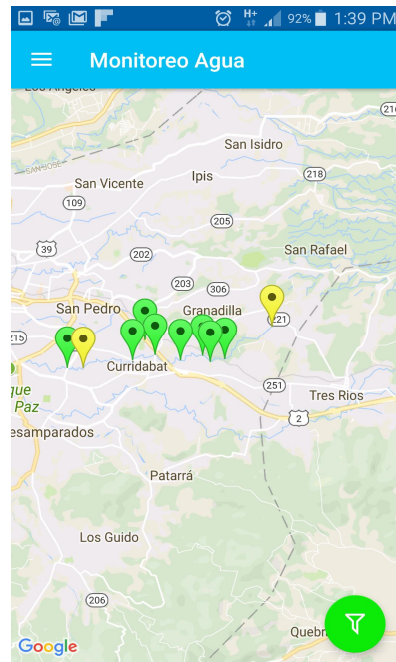


Figura 16. Mapa calidad IH

Generación de gráficos que involucran series de tiempo de los datos elegidos

En la solución propuesta, la aplicación web dispone de la facilidad para que el usuario seleccione el conjunto de datos, pudiendo restringirlo de diversas formas, ej.: por rangos de fechas del muestreo, por el nombre de la institución dueña de los datos, el nombre del responsable de la muestra, el tipo de kit usado, el índice o los parámetros que desea visualizar, los sitios de muestreo, el tipo de gráfica que desea generar con tales datos, generándose luego el gráfico correspondiente a partir de dicha selección. Se muestran algunos ejemplos obtenidos con esta facilidad (fig. 17 a fig. 19). En las figuras 17 y 19, además de que se han pre seleccionado los sitios a visualizar, se admite que el usuario active o desactive cualquiera de los sitios en el gráfico, con solo dar click sobre la caja con el nombre del sitio, que se muestra en el encabezado.

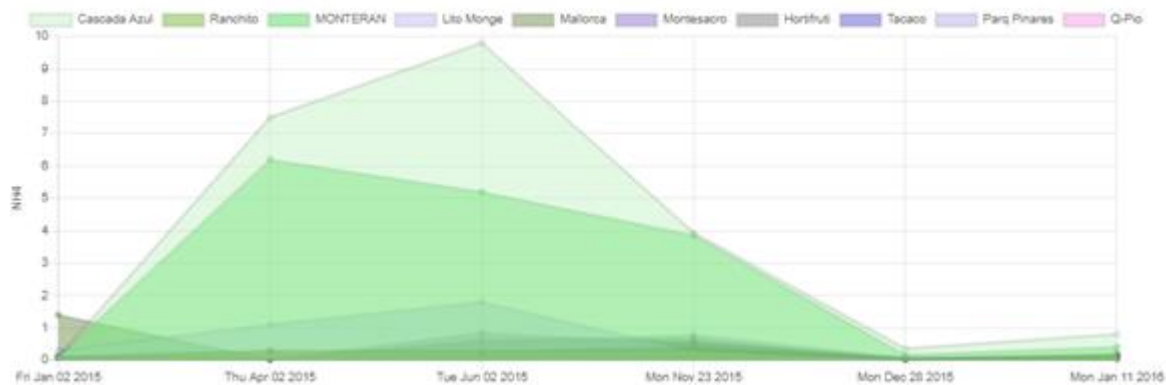


Figura 17. Variación del NH4 en el Río María Aguilar-Curridabat

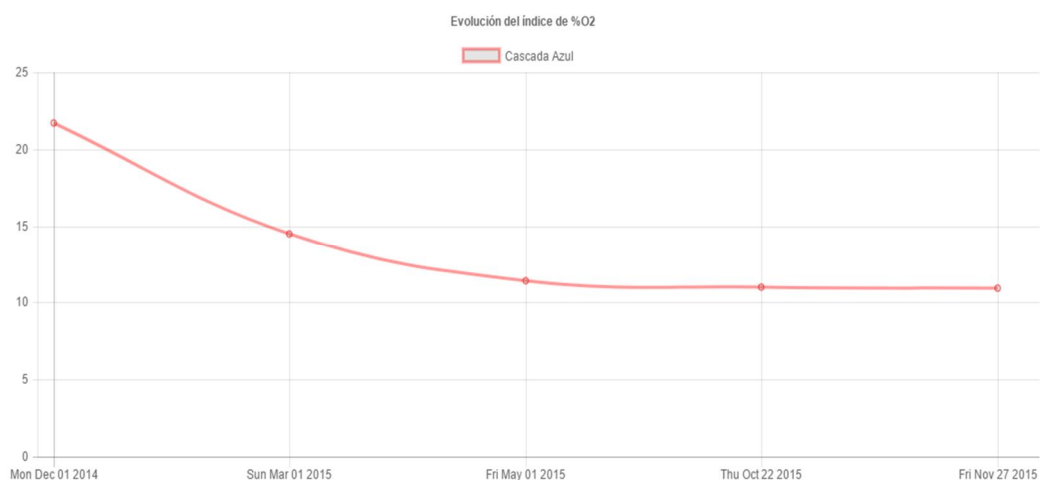


Figura 18. Variación del %OD en el sitio Cascada Azul-Río María Aguilar-Curridabat

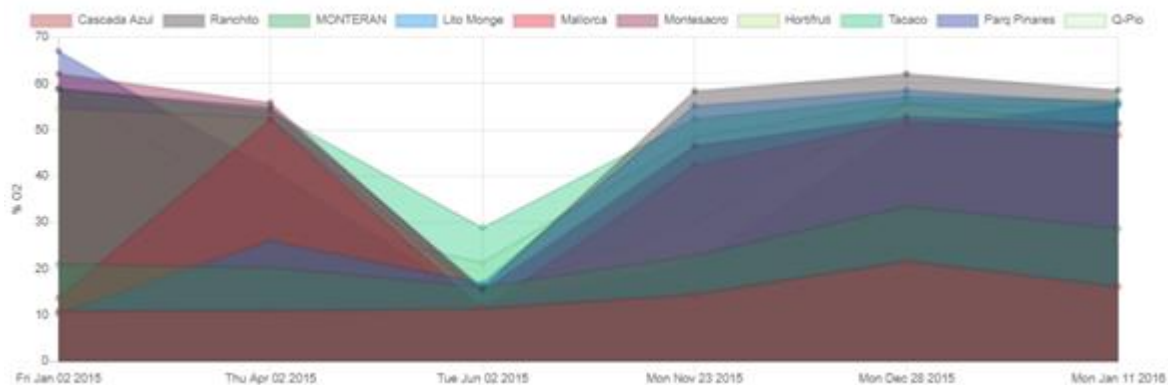


Figura 19. Evolución de %OD Río María Aguilar-Curridabat

Anexo 4. Visualización de datos

Como se ha indicado, el sistema posibilita distintos tipos de visualización acorde a si se usa la aplicación móvil o la aplicación web. La aplicación móvil fue concebida para fungir como un atlas de calidad de aguas, de ahí que la visualización principal sea un mapa con gotas, ubicadas en los sitios de muestreo y con el color asignado acorde con el índice de calidad en el momento y lugar específico. Se muestran algunas pantallas que permiten visualizar tales datos, sean filtrados o no, así como el resultado de realizar algunas operaciones sobre ellos. En el mapa aquellas gotas que se muestran en color gris indican que la muestra se hizo para trabajar con parámetros individuales y que por ende no se calcula algún tipo de índice. En cualquier gota el usuario puede solicitar con la tecla derecha del mouse que se presente información detallada sobre el muestreo en cuestión (fig. 20).

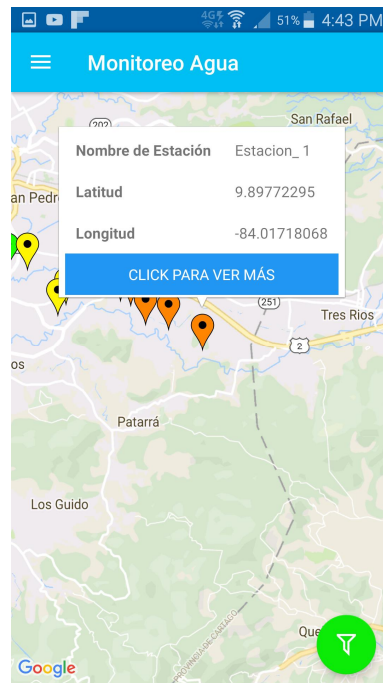


Figura 20. Solicitud de desglose de la medición

Otras formas de visualización implementadas en la aplicación móvil, tienen que ver con el manejo de fotografías (fig. 21) o con el cálculo de la resta del valor de parámetros similares entre dos puntos cualesquiera elegidos en tiempo real por el

usuario (fig. 22 y fig. 23). Ambos tipos de visualización se muestran a continuación.

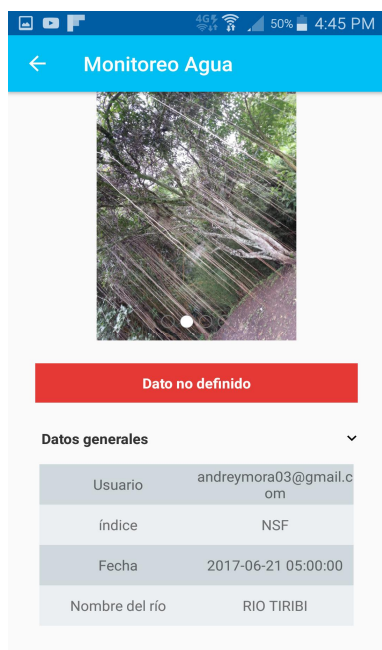


Figura 21. Visualización de datos muestreados



Figura 22. Selección de puntos a

The screenshot shows the 'Monitoreo Agua' app interface with a table titled 'Aritmética de puntos'. The table has three columns: 'Parámetro', 'Dif.', and 'Dif %'. The data is as follows:

Parámetro	Dif.	Dif %
% O2	-22,2	-0,4
DBO	2	1
pts DBO	1	1
NH4	0,11	1,83
pts NH4	0	0
CF	0	0
DQO	0	0
EC	0	0
PO4	0,05	0,23
GVA	0	0
Ph	-0,4	-0,06

Figura 23. Diferencia entre sitios de muestreo

Anexo 5. Materiales usados en la capacitación

Para el primer taller se diseñó y usó un juego de cartas que motiva a pensar acerca de la contaminación de aguas superficiales (fig. 24). Con este tipo de dinámica, los estudiantes se dividieron en equipos, a cada equipo se le dio un juego de cartas con preguntas y respuestas, algunas veces con la identificación de posibles respuestas. Ellos se preguntaban entre sí, respondían la pregunta y registraban en una hoja la cantidad de aciertos y fallos para ella. Se muestra en la siguiente tabla solo las preguntas y las columnas donde debían anotar la cantidad de respuestas afirmativas. La síntesis permite al docente a cargo de la dinámica, poder observar el nivel general de conocimientos respecto a las preguntas planteadas.

Ejemplo de cartas:

3 pts Pregunta ¿Cuál es el porcentaje de agua fresca disponible en el mundo: en ríos, lagos, lagunas y humedales, o en forma de nieve, hielo o termofrost? Opciones (Respuesta en Negrita) 1. 2.5% 2. 10% 3. 17.5% Aclaración 2.5% del agua fresca está en estado líquido, sólido o gaseoso, de ese 2.5% solo el 0,65% fluye en ríos o está en lagos.	1 pt Pregunta ¿Cuáles efectos en el ciclo del agua pueden tener los vertederos y tanques sépticos? Opciones (Respuesta en Negrita) 1. Ninguno 2. Fuentes de contaminación. 3. Incrementan la oxigenación. Aclaración Afectan calidad de aguas superficiales y por permeación pueden afectar la de las fuentes subterráneas.
--	--

Figura 24. Cartas juego conocimientos hídricos

Tabla 21. Resumen de respuestas correctas e incorrectas por equipo

Pregunta	Correcta	Incorrecta	NO Resp
¿Cuál es el porcentaje de agua fresca disponible en el mundo en ríos, lagos, lagunas y humedales, o en forma de nieve, hielo o termafrost?			
¿Cuál es la importancia del sol en el ciclo hidrológico?			
¿Qué es H ₂ O?			
¿Qué se entiende por irrigación?			
¿Cuál es el mayor lago de Costa Rica?			
¿Qué se entiende por condensación?			
¿Qué se entiende por erosión?			
¿Cuáles efectos pueden tener los vertederos y tanques sépticos en el ciclo del agua?			
¿Cuáles elementos deben considerarse en el ciclo del agua?			
¿Cuál es el río más caudaloso en Costa Rica?			
¿En cuál cuerpo de agua (río o lago) se extrae más energía hidroeléctrica en Costa Rica?			
¿En cuál parte del país hay más reservas subterráneas de agua?			
¿Cuál es la importancia del manglar?			
¿Qué se entiende por espejos de agua o humedales?			
¿Qué es una planta de tratamiento de aguas?			
¿Qué evento ocurre en el agua a los 0° Centígrados?			
¿Qué evento ocurre en el agua a los 100° Centígrados?			
¿Qué es eutrofización?			
¿Por qué es importante controlar la turbidez del agua?			
¿Cuál porcentaje de oxígeno disuelto se requiere para garantizar la vida?			
¿Cuál es el nivel óptimo de pH en el agua?			
¿A qué nivel se consideran los nitratos en el agua, peligrosos para la vida humana?			
¿Cómo se evidencia eutroficación?			
¿Cuáles son posibles fuentes de fosfato en el agua?			

Pregunta	Correcta	Incorrecta	NO Resp
¿Cuál es la cantidad de variedades de peces de agua dulce de Costa Rica?			

En esta dinámica también se usó una modificación de la calculadora de agua del Colegio de Biólogos, (fig. 25) que permite adecuarse mejor a distintas realidades familiares. En esta calculadora las celdas en blanco se pueden editar para configurar la usanza familiar y las columnas azules, celestes y amarilla permiten configurar la cantidad de miembros, vehículos o las costumbres en esa familia. Como resultado se obtiene el consumo estimado de agua por núcleo familiar y se facilita el análisis entre los miembros de los equipos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	Cantidad miembros de la familia			2							
2	Cantidad autos en la familia			2							
3	Consumo										
4	Accesorio ut	ref	consumo promedio	unidad	duración (min)	# / día	# días mes uso serv (30 días, 4.2 sem)	Cant miembros familia		litros consumidos (x mes)	
5	ducha	8	8	litros/min	8	1	30	2		3840	Personal
6	servicio sanit	6	6	litros/descarga		4	30	2		1440	
7	lavamanos	8	8	litros/min	1	10	30	2		4800	
8	lavaplatos	6	6	litros/min	45	1	25	1		6750	Familiar
9	lavado de rop	8	8	litros/min	60	3	4	1		5760	
10	lavado de car	8	8	litros/min	30	1	5	2		2400	
11	riego de plan	8	8	litros/min	30	1	5	1		1200	
12	preparación	6	6	litros/min	10	2	25	1		3000	
13										29190	ts
14										29.19	m3
15											
16	Basada en										
17	http://www.colegiobiologos.com/wp-content/uploads/Gu%C3%ADa_Uso-eficiente-del-agua.pdf										
18											

Figura 25. Calculadora consumo de agua

Anexo 6. Protocolo de muestreo

Monitoreo de aguas superficiales mediante Ciencia Ciudadana

Introducción: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014a.)

Insumo general:

Envase: se usa para recoger las muestras de agua

Enjuague con agua del río varias veces antes de tomar la muestra

Test de temperatura: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014b)

Insumos:

Termómetro

Procedimiento:

1. Si aún no se ha adherido el termómetro en el exterior del recipiente recolector de agua, colóquelo en la parte inferior de dicho recipiente (unos 3 cms de abajo hacia arriba), de manera que el termómetro no toque el suelo del cauce de agua.
2. Luego de asegurarse que el cable esté bien sujeto al recipiente y que tenga el largo requerido, arrójelo al cauce de agua.
3. Deje el termómetro **2 minutos** en el agua para que mida su temperatura.
4. Lea y anote la temperatura del agua (dada en grados Celsius)

Observación:

Procure que este sea la primera prueba que realiza porque de lo contrario corre el riesgo de medir una temperatura errónea

Test de Oxígeno Disuelto: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014c)

Insumos:

- i. Hoja con colorimetría para Oxígeno Disuelto
- ii. Tubo redondo pequeño con marca para 5mL (provisto)
- iii. 2 Tabletas para prueba de Oxígeno Disuelto (DO)
- iv. Cronómetro

OJO: Si se usa el agua del envase, esta prueba debe ser una de las primeras que se haga para evitar la pérdida de oxígeno

Procedimiento:

1. Sumerja completamente el tubo en el agua del envase, tal que no quede espacio para oxígeno.
2. Cierre el frasco.
3. Agregue 2 tabletas de oxígeno disuelto (DO) al agua dentro del tubo (si se desborda es buena señal).
4. Inicie el cronómetro en **4 minutos**.
5. Para deshacer las tabletas y revolver con el contenido del tubo, gíre el frasco en el sentido de las manecillas del reloj y luego en sentido opuesto (esto por 4 minutos sin parar).
6. Cuando el cronómetro pare, deje en reposo el tubo.
7. Inicie otro cronómetro para **5 minutos**.
8. Trascurridos los 5 minutos compare el color contra el diagrama de color para el DO.
9. Anote el valor para el color más parecido (0, 4 u 8 ppm).

10. Halle la temperatura del agua en la siguiente tabla. El porcentaje de saturación es la intersección entre la temperatura y la columna del OD

Tabla 22. Cálculo del porcentaje de Saturación

	Oxígeno Disuelto(OD)		
Temp °C	0 ppm	4 ppm	8 ppm
2	0	29	58
4	0	31	61
6	0	32	64
8	0	34	68
10	0	35	71
12	0	37	74
14	0	39	78
16	0	41	81
18	0	42	84
20	0	44	88
22	0	46	92
24	0	48	95
26	0	49	99
28	0	51	102
30	0	53	106

Ejemplo: a 22 °C y con un OD de 4ppm, el % de saturación es 46

Test de Turbidez: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014d)

Insumos:

Hoja con colorimetría para **Turbidity**

Envase del kit

Procedimiento:

1. Llene con agua el envase hasta la marca para el test de turbidez (evitando agitar innecesariamente el agua río arriba, que es de donde se va a tomar la muestra)
2. Compare el color del disco Secchi que está en el fondo del envase con el color de la hoja par TURBIDITY
3. Seleccione el color más parecido al de la muestra
4. Anote dicho valor

Test de Nitratos: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014e)

Insumos:

Hoja con colorimetría para NITRATES

Tubo redondo de unos 10 cm de tamaño para 5mL (provisto)

2 Tabletas para prueba Nitratos

Cronómetro

Procedimiento:

1. Tome un tubo con marca de 5ml
2. Quite la tapa
3. Inserte el tubo en el envase y llene 5 milímetros
4. Agregue en el tubo una tableta para evaluar nitratos
5. Cierre el tubo
6. Ponga el tubo en posición vertical
7. Hágalo girar 180 grados en posición vertical hasta que la tableta se descomponga completamente
8. Ponga un cronómetro en **5 minutos** e inícielo
9. Cuando pasen exactamente 5 minutos, compare el color contra la hoja de color para NITRATE
10. Si el color es diferente al ofrecido, indique 5 ppm
11. Anote el valor para el color más parecido

Test de Fosfatos: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014f)

Insumos:

- 1 Tableta para medir PHOSPHATES
- Frasco grande para realizar medición (10mL)
- Cronómetro

Procedimiento:

1. Tome un tubo con marca de 10ml
2. Quite la tapa
3. Sumerja el tubo en el envase y llene 10 milímetros
4. Agregue en el tubo una tableta para evaluar fosfatos
5. Cierre el tubo
6. Ponga el tubo en posición vertical
7. Hágalo girar 180 grados en posición vertical (de arriba hacia abajo y viceversa) hasta que la tableta se descomponga completamente
8. Ponga un cronómetro en **5 minutos** e inícielo
9. Cuando pasen exactamente 5 minutos, compare el color contra la hoja de color para PHOSPHATE
10. Seleccione el color más parecido al de la muestra
11. Anote dicho valor

Test de pH: (National Great Rivers Research and Education Center, 2014g)

Insumos:

- 1 Tableta para medir pH
- Frasco grande para realizar medición (10mL)

Procedimiento:

1. Tome un tubo con marca de 10ml
2. Quite la tapa
3. Inserte el tubo en el envase y llene 10 milímetros
4. Agregue en el tubo una tableta para evaluar pH
5. Cierre el tubo
6. Gírelo de arriba hacia abajo hasta que la tableta se disuelva
7. Compare el color contra la hoja de color para pH
8. Seleccione el color más parecido
9. Anote el valor para el color más parecido (4,5,6,7,8,9,10)

Test de Demanda Bioquímica de Oxígeno:

La DBO mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos al descomponer la materia orgánica en aguas en movimiento. Se usa una prueba para medir la cantidad de oxígeno consumido por estos organismos un período específico de tiempo (usualmente 5 días a 20°C). La tasa de consumo de oxígeno en un flujo de agua es afectada por un número de variables: temperatura, pH, la presencia de cierto tipo de micro organismos y el tipo de materia orgánica e inorgánica en el agua.

Insumos:

2 Tableta para medir Oxígeno
Frasco grande para realizar medición (10mL)
Papel aluminio
cronómetro

Procedimiento:

1. Tome un tubo con marca de 0125.
2. Quite la tapa.
3. Inserte el tubo en el envase y llene hasta un poco arriba de los 10 milímetros.
4. Tape el tubo.
5. Envuelva el tubo en papel aluminio o negro, guárdelo en un lugar oscuro a temperatura ambiente durante 5 días. El frasco a usar se protege de la luz para evitar la fotosíntesis.
6. Después de 5 días, quite el cobertor del tubo, y agréguele 2 tabletas de prueba de oxígeno.
7. Tape nuevamente, verificando que no queden burbujas en el frasco.

8. Gire el frasco 180 grados en un sentido y en el reverso hasta que se hayan disuelto las tabletas.
9. Espere 5 minutos
10. Compare el color de la muestra contra la gráfica de color de OD
11. Reste el valor del punto anterior del valor registrado para OD. Esta diferencia corresponde al valor de DBO
12. Anote dicho valor en la hoja de resultados

Monitoreo de aguas superficiales mediante Ciencia Ciudadana

UCR ï Municipalidad de Curridabat ï Colegio San Antonio de Padua

Miembros del equipo

Tabla 23. Registro en papel de valores monitoreados con Kit de bajo costo

Sitio	Long	Lat	Fecha	Hora	Test/ Prueba	Temperatura °C	Oxígeno Disuelto (OD) ppm	Turbidez JTU	Nitratos ppm	Fosfatos ppm	pH n/a	BOD=(OD - medición ppm	Presencia de Coliformes (S/N)	Conteo de Coliformes fecales Colonias /100mL

Notas o comentarios (Ej. Condiciones atmosféricas del día en caso de ser relevantes)

Anexo 7. Toma de decisiones respecto al agua como activo ecológico

Del taller con colegiales hecho para el análisis de problemas y la propuesta de soluciones (Taller #6), surgieron un conjunto de ideas que por razones de tiempo no pudieron analizarse, depurarse y priorizarse, pero inicialmente estos son los resultados de dicho taller respecto a la identificación de los problemas principales y las propuestas para la mitigación de daños.

Problemas

1. Desechamos cadáveres químicos, latas, plástico, etc. Si seguimos así moriremos todos
2. Cuando se desecha un líquido contaminante de la Empresa
3. Mucha basura que tiran en el río
4. Que el agua sucia de las casas, cae en el río
5. Industrias cerca de ríos
6. Malos hábitos de vecinos
7. Falta de participación en la limpieza y mantenimiento de los ríos
8. Contaminación por medio de agroquímicos y pesticidas
9. Falta de proyectos de restauración de los ríos
10. Personas con poca educación ambiental
11. Mal manejo de residuos
12. Dificultades para el monitoreo de los ríos (como accesos, recursos y soluciones)
13. Falta de plantas de tratamiento de aguas residuales

14. Desperdicio de aguas por parte de las empresas productoras

Posibles acciones

1. Hacer limpieza en los lugares donde hay más basura
2. Poner más reglas para las empresas que tienen ríos cerca, así evitamos la contaminación
3. Poner multas a personas que contaminen el río
4. Crear organizaciones para recoger basura de los ríos
5. Darles más seguimiento a los ríos, así evitamos la contaminación
6. Más proyectos de cuidados de agua y ambiente
7. Denunciar empresas que contaminen el agua
8. Informar a los vecinos acerca del problema de las aguas de la zona, para que reciclen y utilicen productos biodegradables
9. Reciclar los desechos, por ejemplo (plástico, etc.) para que disminuya la basura que llega a los ríos
10. Crear junto a la Municipalidad un programa de siembra de árboles y plantas junto a los ríos
11. Monitorear con mayor frecuencia los puntos más contaminados
12. Hacer campañas de reciclaje
13. Hacer la búsqueda de otros expertos en estos temas para que inspiren a los jóvenes
14. Buscar los principales contaminantes de ríos en Curridabat

15. Vigilar las empresas cercanas a los ríos
16. Ponerle un alto a las empresas contaminantes

Anexo 8. Resumen de talleres

Entre los meses de mayo y agosto de 2017, se llevaron a cabo 7 talleres dentro del contexto del plan piloto para ensayar el sistema de monitoreo de aguas superficiales que se estaba gestando, cuyo resumen se presenta en la tabla 22.

Con excepción del taller 4 y el 5, llevados a cabo entre junio y julio de 2017, cuando se hicieron visitas a los ríos locales, los demás talleres se realizaron en el Colegio San Antonio de Padua en Curridabat. En estos talleres participaron 16 estudiantes de undécimo año, así como un docente de matemáticas y ocasionalmente una docente de química. La participación en dicho taller fue voluntaria. Por tratarse de menores de edad, a pesar de que se tomaron fotos de los voluntarios, mientras realizaban las diversas actividades, las mismas solo se compartieron dentro del boletín colegial. Para las giras realizadas a la vera de los ríos, se obtuvo por escrito el permiso parental y se coordinó con la institución, tanto el uso de la buseta estudiantil, como del acompañamiento de un docente por equipo de trabajo. Las dos ocasiones en que fue a muestrear aguas de ríos, se distribuyeron guantes, kits de monitoreo, instructivos, hojas de bitácora y alcohol en gel para desinfección.

En cada taller que se realizó, se incluyó al menos a una persona del municipio, ya sea que trabajara para el Equipo de Innovación o el departamento de Gestión Ambiental de dicha municipalidad.

Tabla 22. Resumen de actividades desarrolladas en talleres

Taller	Fecha	Objetivo	Producto
1	17-5-17	Hacer una motivación sobre el plan piloto	Grupo de personas interesadas en tomar parte del plan piloto
2	24-5-17	Realizar la capacitación en el uso del Kit LaMotte	Voluntarios con conocimientos básicos
3	31-5-17	Hacer una capacitación acerca de las facilidades de los mapas digitales, así como su disponibilidad a nivel cantonal. Revisar la forma de consultar, insertar y analizar datos en la app	Evaluación de posibles hipótesis acerca de los resultados derivados de las series de tiempo
4	7-6-17	Ensayar la toma de muestras, la evaluación de parámetros y la digitalización de resultados en ríos locales	Muestras recolectadas

Taller	Fecha	Objetivo	Producto
5	21-6-17	Realizar un muestreo en parque de piedras y parque de Cipreses	Muestras recolectadas, y toma de fotos con palabras claves
6	28-6-17	Presentar resultados del plan piloto	Encuesta
7	16-8-17	Identificar principales problemas de contaminación de aguas de ríos en el cantón desde la perspectiva estudiantil Proponer medidas de mitigación	Listado de problemas y posibles medidas