

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Monitoreo de la Calidad del Agua en el año 2016: San
Cristóbal, Galápagos**
Proyecto de investigación

Maria Fernanda Salazar Espinoza

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de
Licenciada en Administración Ambiental

Quito, 25 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Monitoreo de la Calidad del Agua en el año 2016: San
Cristóbal, Galápagos**

Maria Fernanda Salazar Espinoza

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Valeria Ochoa-Herrera, Ph. D

Firma del profesor

Quito, 25 de mayo de 2017

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: **Maria Fernanda Salazar Espinoza**

Código: **00105083**

C. I.: **0603324682**

Fecha: **Quito, mayo de 2017**

DEDICATORIA

A:

Mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores durante mi desarrollo académico.

Mi hijo, Luis Antonio León Salazar, que cada día me da la motivación para seguir adelante y continuar preparándome para brindarle un buen futuro.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Maria Fernanda Salazar

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se contó con el apoyo de instituciones como: Galapagos Science Center, Universidad San Francisco de Quito extensión Galápagos y GAD Municipal de San Cristóbal. Especialmente agradezco a Valeria Ochoa, directora de tesis, quien brindó su confianza y oportunidad de participar en este proyecto tan enriquecedor, además de brindarme todas las facilidades para la realización del mismo. A los delegados del Laboratorio de Ingeniería Ambiental, quienes me ayudaron en los análisis realizados en el laboratorio.

Maria Fernanda Salazar

RESUMEN

El crecimiento poblacional y el auge del turismo en la isla San Cristóbal puede afectar la calidad del agua y esto puede generar un serio problema de salud pública. En el presente proyecto se realizó el análisis de la calidad del agua en la isla San Cristóbal durante 8 meses (mayo-diciembre) en el año 2016. El análisis se realizó en diferentes muestras de agua de consumo humano: fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento y sistema de distribución; dos playas y de la planta de tratamiento de aguas residuales. En las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Agua (LCS-GSC) y Laboratorio de Microbiología (LM-GSC) del Galapagos Science Center se realizaron los análisis físico-químicos y microbiológicos de cada una de las muestras, respectivamente siguiendo protocolos estandarizados. En el caso de las fuentes de abastecimiento de acuerdo a los parámetros regulados por la legislación ambiental (TULSMA) no son aptas para consumo humano sin previo tratamiento. Sin embargo, en términos generales para los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados el agua de las plantas de tratamiento y el sistema de distribución se encuentran dentro de lo recomendado por la OMS y la Norma Técnica INEN:1108. En cuanto a los datos obtenidos de la planta de tratamiento de aguas residuales se encontró que a pesar de la reducción de concentraciones en muchos parámetros no cumplen con los límites establecidos, mientras que las concentraciones de Coliformes y *E. coli* se mantienen constantes a lo largo del tratamiento de agua residual. Finalmente, para las aguas de uso recreacional, los datos físico-químico y microbiológicos obtenidos indican que se encuentran dentro de lo establecido de acuerdo a la legislación nacional y la OMS a excepción en el contero de *Enterococcus* del punto de descarga del efluente de la planta de tratamientos de aguas residuales.

Palabras clave: Calidad de agua, microbiología, San Cristóbal, aguas residuales, afluente, efluente, plantas de tratamiento, sistema de distribución.

ABSTRACT

The population growth and the increase of the tourist in San Cristóbal Island can affect the water quality and generate a serious public health problem. In the present project was analyzed the water quality in San Cristobal Island during eight months between May and December 2016. The physical-chemical and microbiological analyses were realized in different samples of water for human consumption: water supply sources, treatment plants and distribution system; two beaches and the Waste Water Treatment Plant. The analyses were performed at the Water Quality Laboratory (LCA-GSC) and Microbiology Laboratory (LM-GSC) of the Galapagos Science Center. Every parameter was analyzed using standardized protocols. The water supply sources according the regulated parameters by national legislation (TULSMA) they are not adequate for human consumption without previous treatment. Nevertheless, in general terms the water of treatment plants and distribution system for parameters physical-chemical and microbiological analyzed are within of recommended by WHO and the Technical Rule INEN: 1108. The values of the waste water treatment plant after comparison with the TULSMA to effluents discharge in marine waterbody was found that despite the concentration's reduction in some parameters are not within the limits allowed, while total coliforms and E. coli concentrations are constants during the treatment of waste water. For the recreational water, in the beach's samples the information of physical-chemical and microbiological analysis are within the limits according TULSMA and WHO except the Enterococcus concentration at the waste water effluent discharge point.

Keywords: Water quality, microbiology, San Cristobal, waste water, affluent, effluent, treatment plants, distributions system.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	12
MARCO TEÓRICO.....	13
METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
Herramienta de investigación.....	20
Materiales.....	20
Recolección de muestras de agua.....	21
Análisis Físico-Químico y Microbiológico.....	23
Mediciones <i>in situ</i>	24
Métodos analíticos	25
Medición de cloruro, amonio y nitrato.....	25
Medición de Cloro Residual.....	26
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	26
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	27
Medición de Fluoruro.....	27
Medición de Fosfatos	28
Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales	29
Medición de Sulfatos.....	30
Medición de Sulfuros	30
Medición de Turbidez	31
Medición de Coliformes totales y <i>Echerichia coli</i>	32
Medición de <i>Enterococos</i>	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Fuentes de agua para consumo humano	34
Agua de consumo humano	42
Aguas residuales.....	50
Agua de uso recreacional - Playas.....	56
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
MAPA DE SITIOS DE MUESTREO EN LA ISLA SAN CRISTÓBAL	63
REFERENCIAS	64

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Equipos y materiales de laboratorio utilizados.....	21
Tabla 2. Sitios de muestreo y número de muestras.	22
Tabla 3. Tipo de envase utilizado en la toma de muestras de acuerdo al parámetro a analizar.....	23
Tabla 4. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos analizados.	24
Tabla 5. Factores de volumen de muestra y DBO5 esperado (OxiTop, 2008).....	27
Tabla 6. Adiciones del estándar de 10 ppm F ⁻ a la solución de 25 mL de agua destilada y 25 mL de low-level TISAB.	28
Tabla 7. Concentraciones Curva Calibración Fosfato.	29
Tabla 8. Concentraciones Curva Calibración Sulfuro.	31
Tabla 9. Límites máximos permisibles para la calidad de agua de consumo humano basados en la legislación ecuatoriana vigente.	34
Tabla 10. Resumen análisis físico-químicos de las fuentes de agua.	35
Tabla 11. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de las fuentes de agua.....	35
Tabla 12. Resultados microbiológicos de las fuentes de agua.	41
Tabla 13. Límites máximos permisibles para la calidad de agua de consumo humano.	42
Tabla 14. Resumen análisis físico-químicos de agua para consumo humano.....	43
Tabla 15. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de agua para consumo humano	43
Tabla 16. Resultados análisis microbiológicos de agua para consumo humano.	49
Tabla 17. Límite de descarga efluentes a un cuerpo de agua.	50
Tabla 18. Resumen análisis físico-químicos de aguas residuales	51
Tabla 19. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de aguas residuales.....	51
Tabla 20. Resultados análisis microbiológicos de aguas residuales.....	55
Tabla 21. Límites máximo permisibles para la calidad de aguas de uso recreacional ..	56
Tabla 22. Resumen análisis físico-químicos de agua para fines recreativos.	56
Tabla 23. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de agua para fines recreativos.....	57
Tabla 24. Resultados análisis microbiológicos de agua para fines recreativos	59

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Evolución de la población residente habitual (CPVG, 2015).....	14
Figura 2. Mapa del Sistema de Agua Potable del Catón San Cristóbal (Zhune, 2010) (Sotomayor, 2014).....	16
Figura 3. Variación de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en las fuentes de abastecimiento durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: CGS = Cerro Gato Spring y LTS = La Toma Spring.....	37
Figura 4. Variación de la Temperatura-OD (A), Salinidad-OD (B), Solidos Totales-Turbidez (C), Conductividad (D), pH (E), Sulfatos (F), Fosfatos (G) y Sulfuros (H), para las muestras de fuentes de abastecimiento entre May-Dic: Leyenda CGS: Cerro Gato Spring y LTS: La Toma Spring	39
Figura 5. Variación concentración de <i>E. coli</i> con respecto al tiempo de muestreo en las fuentes de abastecimiento comprendido entre Mayo y Diciembre, 2016. Leyenda CGS = Cerro Gato Spring y LTS = La Toma Spring.	41
Figura 6. Variación de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en las plantas de tratamiento durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: EP_WTP IN= El Progreso Afluente, EP_WTP OUT= El Progreso Efluente, LP_WTP IN= Las Palmeras Afluentes, LP_WTP OUT= Las Palmeras Efluente.	45
Figura 7. Variación de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en el sistema de distribución durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: GSC= Lavabo GSC, TB= Baños Públicos Malecón, MS= Vulcanizadora, BHC= Casa Cisterna, BHT= Casa Lavabo, PB= Baños Públicos El Progreso y AEP= Agua El Progreso.....	47
Figura 8. Variación de Turbidez (A), pH (B), Cloro Residual (C) y Fosfato (D) con respecto al tiempo en las plantas de tratamiento y sistema de distribución durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: GSC= Lavabo GSC, TB= Baños Públicos Malecón, MS= Vulcanizadora, BHC= Casa Cisterna, BHT= Casa Lavabo, PB= Baños Públicos El Progreso y AEP= Agua El Progreso, EP_WTP IN= El Progreso Afluente, EP_WTP OUT= El Progreso Efluente, LP_WTP IN= Las Palmeras Afluentes, LP_WTP OUT= Las Palmeras Efluente.....	48
Figura 9. Variación de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo de aguas residuales durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: WWTP_IN= Planta de tratamiento de aguas residuales Afluente y WWTP_OUT= Planta tratamiento aguas residuales Efluente.	54
Figura 10. Variación de la conductividad (A), pH (B), OD (C) y temperatura (D) con respecto al tiempo en agua de mar durante el periodo Mayo-Diciembre, 2016. Leyenda: LLR = La Lobería lado derecho; LLL = La Lobería lado izquierdo; LCD= Carola Punto de Descarga; LCR= Carola lado derecho y LCL= Carola lado izquierdo.....	58

Figura 11. Variación concentración de Enterococcus con respecto al tiempo de muestreo en agua de mar entre Mayo y Diciembre, 2016. Leyenda LLR= La Lobería lado derecho; LLL= La Lobería lado izquierdo; LCD= Carola Discharge Point; LCR= Punta Carola lado derecho y LCL= Punta Carola lado izquierdo. 59

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento poblacional y el auge del turismo en la isla San Cristóbal, la calidad del agua se ha convertido en un serio problema de salud pública (Watkins & Cruz, 2007) (Epler, 2007) (Hennessy & McCleary, 2011) (Ochoa-Herrera, Eskew, Overbey, Palermo, & Peñafiel, 2014). Pocos estudios han sido desarrollados sobre la calidad de agua en las islas Galápagos, en el año 2014 se realizó un estudio de línea base sobre el manejo y calidad del agua en la isla San Cristóbal, dando inicio al Proyecto Piloto de Monitoreo de la Calidad del Agua en la Isla San Cristóbal en colaboración con el Galapagos Science Center (GSC) junto con la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador y la Universidad Carolina del Norte, Estados Unidos. Los objetivos del proyecto piloto fueron: a) implementar el Laboratorio de Calidad de Agua en el GSC (LCA-GSC), b) generar información de línea base sobre la calidad del agua y c) promover la participación de la comunidad y de las instituciones locales en este Proyecto Piloto de Monitoreo de la Calidad del Agua (Nivelo, 2015).

La continuación de este programa de monitoreo a largo plazo de la calidad de agua es importante para generar información sobre el recurso hídrico de la isla para su posterior control y manejo. El presente trabajo representa el tercer año de monitoreo e investigación sobre la calidad del agua en la isla San Cristóbal, tomando una muestra mensual de las fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento, aguas residuales y aguas para uso recreacional, el análisis de cada una de las muestras de agua fueron realizados en base a parámetros físico-químicos y microbiológicos utilizando protocolos estandarizados.

MARCO TEÓRICO

El archipiélago de Galápagos se encuentra bastante aislado del Ecuador continental a unos 1.380 km de Quito y 1.240 km de Guayaquil. El archipiélago está conformado por 234 unidades terrestres emergidas -islas, islotes y rocas- inventariadas por la Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG), sobrepasando en 106 unidades a trabajos anteriores donde se registraron sólo 128 (Snell et al., 1996; Tye et al., 2002) (DPNG, 2014). Esta variación de cifras se debe a las características geológicas que se mantiene en el archipiélago, con una superficie emergida total de 7.985 km². Las cinco islas: Isabela, Santa Cruz, Fernandina, Santiago y San Cristóbal, representan el 99,7% de la superficie insular (DPNG, 2014). San Cristóbal y Española, son las islas más antiguas que se formaron hace 2,8 - 5,6 millones de años, respectivamente (Geist, 1996) (DPNG, 2014).

Las islas galápagos, fueron declaradas provincia el 18 de febrero de 1973 con el propósito de darle a la región insular un reconocimiento de su valor ecológico, biológico, turístico y estratégico (PNG, 2005). La provincia se encuentra dividida en tres cantones: San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela. Puerto Baquerizo Moreno es la cabecera cantonal de San Cristóbal y capital política de la provincia (GAD Municipal San Cristóbal, 2015). La provincia según los resultados del Censo de Población y Vivienda de Galápagos 2015 (CPVG), tiene una población de 25.244 habitantes 9,5% más que la población durante el Censo Nacional del 2010 que llegó a 23.046 personas. No obstante, la tasa de crecimiento del promedio anual de la población residente habitual pasó de 3,1% en el 2010 a 1,8% en el 2015. Del total de la población del archipiélago 7.199 personas habitan en el Cantón San Cristóbal, distribuidos en Puerto Baquerizo Moreno con 6.533; Parroquia El Progreso con 535 y Floreana (Isla Santa María) con 111 personas (INEC, 2016). En la siguiente Figura podemos apreciar el

crecimiento poblacional desde el año 1950 al 2010 según los diferentes Censos Nacionales y el Censo realizado solamente en la provincia del 2015.

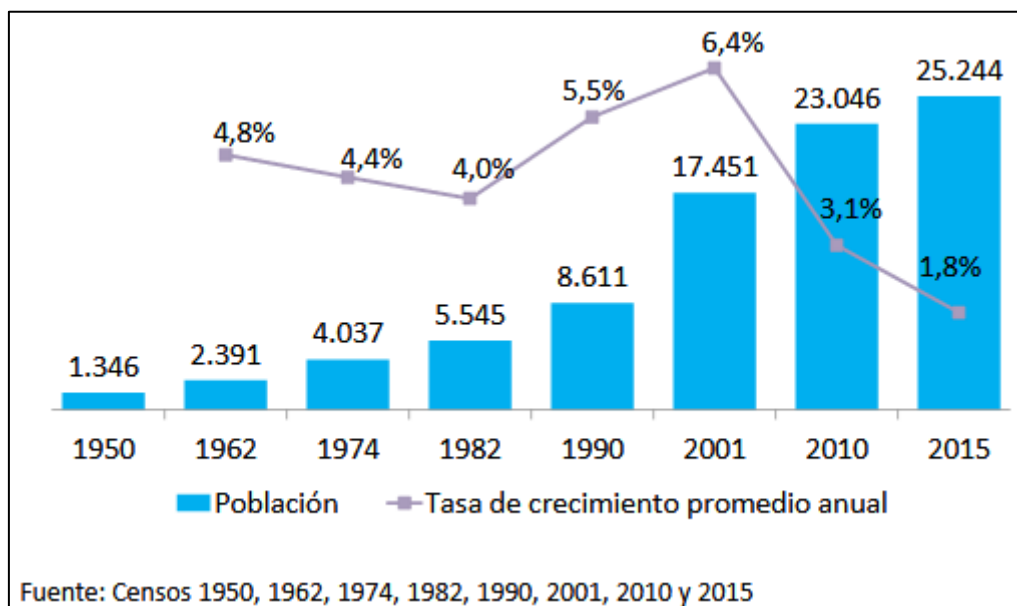


Figura1. Evolución de la población residente habitual (CPVG, 2015)

Los primeros habitantes en San Cristóbal podían contar con agua dulce superficial, a diferencia de Santa Cruz e Isabela donde los primeros colonos se abastecían por medio de recolección de agua lluvia y captación de agua salobre subterránea. A partir de los años 70 los municipios crearon redes de abastecimiento; en San Cristóbal mejoró el sistema de distribución de agua dulce, mientras que en Santa Cruz e Isabela se implementó un sistema de distribución de agua salobre bombeada desde acuíferos, donde los hogares recibían agua por tubería en un 88% en Santa Cruz, en un 93% en San Cristóbal y en un 81% en Isabela. Sin embargo para el 2012 los habitantes del archipiélago aun no contaban con agua potable (DPNG, CGREG, FCD y GC, 2013).

En la isla San Cristóbal en el año 2011, a través de un convenio entre el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos (CGREG) y el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón San Cristóbal se ejecutó el

proyecto “Nuevo Sistema de Agua Potable para el cantón San Cristóbal” (CGREG, 2013). El cual tuvo dos fases, la primera consistió en la construcción de la nueva línea de distribución realizada por el Consorcio EPTISA ENTEMANSER S.A., en nueve barrios del cantón entre los años 2007-2008. La segunda fase la realizó el Consorcio ESEICO CUENCA S.A., quienes construyeron la nueva línea de distribución de tres barrios restantes, además de la tubería de conducción desde las captaciones de Cerro Gato y Toma del Americano hasta las Plantas potabilizadoras de agua en los años 2012-2013. Desde la fuente de captación Cerro Gato va hasta la Planta Potabilizadora de Agua Potable ubicado en el barrio Las Palmeras y desde la fuente de captación La Toma de Los Americanos va hasta la Planta Potabilizadora de Agua Potable ubicada en la Parroquia El Progreso. El sistema de agua potable inició sus operaciones en las dos plantas de tratamiento mencionadas (GAD Municipal San Cristóbal, 2014).

San Cristóbal cuenta con 17 encañadas, las principales fuentes de recursos hídricos son: Encañada del Plátano, Encañada Cerro Gato, Embalse la “Toma” o embalse de “Los americanos”, Encañada de la Policía, Encañada “El Chino”, Encañada La Honda y Embalse de “El Chino” (CGREG, 2013). De los cuales las dos plantas potabilizadoras, La Planta “Las Palmeras” se abastece de la Encañada Cerro Gato con un caudal de 15 L s^{-1} y el Embalse la “Toma” abastece la Planta “El Progreso” con un caudal de 15 L s^{-1} . Aunque la cantidad de agua es variable, dependiendo de las precipitaciones (GAD Municipal San Cristóbal, 2014), Cerro Gato (988712, 50 N – 224415,00E) tiene una elevación de 221 msnm con un área de $0,7 \text{ km}^2$ a unos 18km de distancia y La Toma (220950,61E –9899317,33S) se encuentra a unos 164 msnm, que le aportan 3 micro-cuencas con escurrimiento superficial a unos 6 km de distancia de la Parroquia El Progreso (Rueda, López, & Nagahama, 2008). En la siguiente Figura se

puede apreciar la ubicación de las fuentes de aguas y cómo se distribuye a los sistemas de tratamiento respectivos.

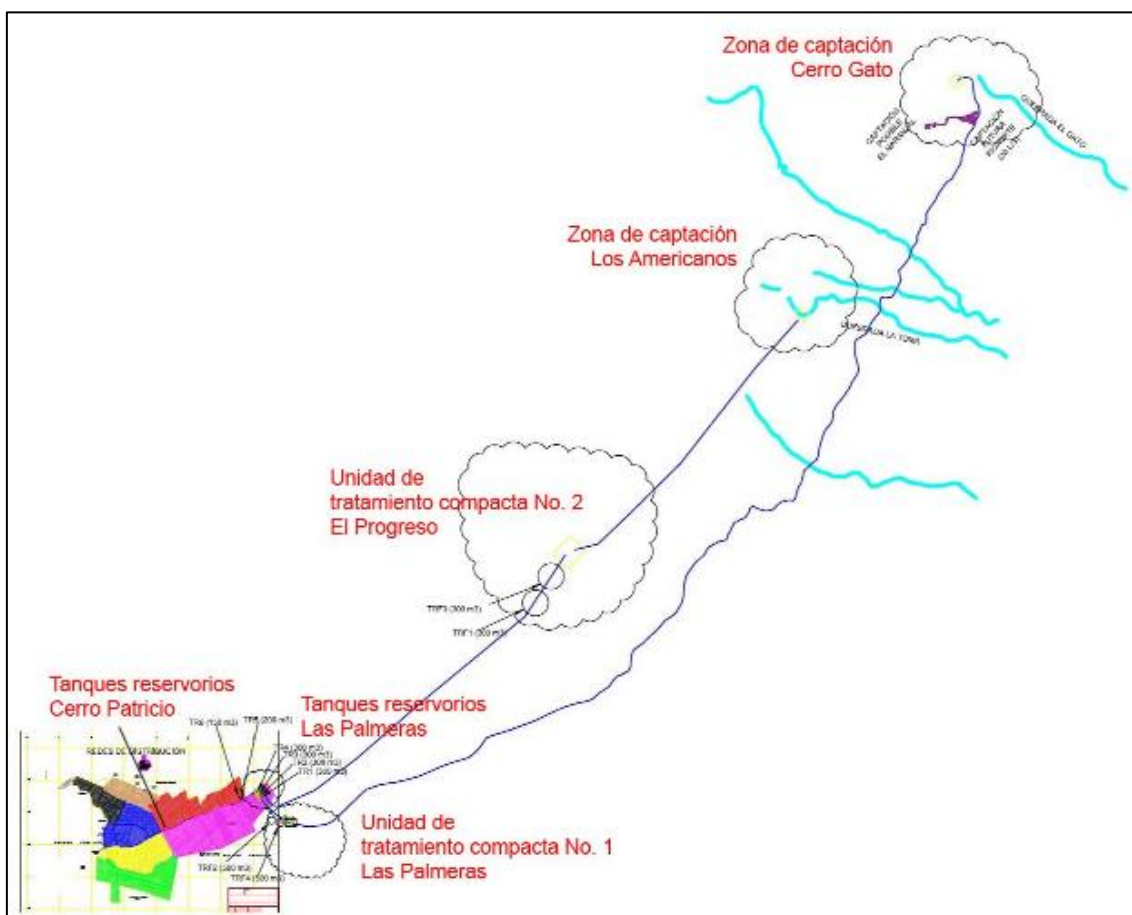


Figura2. Mapa del Sistema de Agua Potable del Catón San Cristóbal (Zhune, 2010) (Sotomayor, 2014)

Según el Censo de Población y Vivienda Galápagos 2015, en cuanto a la cobertura de servicios básicos en el año 2015 para la eliminación de excretas de la provincia se usan principalmente el 26,8% red pública de alcantarillado, 72,3% en pozo sépticos y 0,9% no tiene (INEC, 2015). El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela (GADMI) con el apoyo técnico de WWF Ecuador inició, en el 2014, la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales “bajo la modalidad de pantanos artificiales con plantas acuáticas nativas”. La primera fase de la planta está diseñada para tratar aguas residuales generadas por 1500 habitantes. Una vez finalizada esta planta servirá a una población de 4300 habitantes con una extensión de

6600 m², y será la más grande de este tipo en el país” (WWF, 2016). Con el inicio del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se elimina un problema ambiental que representaba la descarga de aguas servidas que iban directamente al mar en el sector de Punta Carola (Gobernacion de Galápagos, 2011). La planta de tratamiento fue construida entre los años 2009-2011, ocupando un área de 494 m² que se divide en: tanque pre sedimentador, tanque filtro anaeróbico, tanque reactor aeróbico-Lodos activados, tanque homegenizador, tanque digestor; eras de secado de lodos, tanque clorificador, cárcamo de destilado de eras de secado de lodos; además, cuenta con un laboratorio y cuarto de máquinas. La planta tiene una capacidad para tratar diariamente un volumen aproximado de 4 m³ con un peso entre 100 a 150 kg.

Fuentes de agua

Las fuentes de aguas componen el elemento fundamental en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, siendo importante definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad. Los ecosistemas de agua potable dirigida por la gravedad, su fuente de agua se encuentra en la parte alta de la población con el propósito que el agua fluya por las tuberías por la fuerza de la gravedad. Para el diseño de un sistema de abastecimiento es importante seleccionar una fuente de agua adecuada, existen tres tipos de fuente: a) agua lluvia; b) aguas superficiales y c) aguas subterráneas (CEPES).

- a) Agua de lluvia, la captación de agua lluvia en casos donde no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad;
- b) Aguas superficiales, están compuestas por arroyos, ríos, lagos, etc. que fluyen naturalmente por la superficie terrestre;
- c) Aguas subterráneas, las precipitaciones en las cuencas hidrográficas se filtran en el suelo hasta las zonas de saturación, así formándose las aguas subterráneas.

(CEPES)

Agua para consumo humano y domestico

El acceso al agua potable es fundamental para la salud y uno de los derechos humanos básicos, el acceso al agua potable es importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local (Organización Mundial de la Salud , 2008). Para que el agua sea idónea para el consumo humano debe cumplir con ciertos requerimientos básicos como: estar libre de organismos patógenos; no contener compuestos que tengan un efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana; ser aceptablemente clara, no salina (CEPES). Por esta razón debe ser sometida a tratamiento, en plantas de tratamiento convencionales de aguas superficiales se utiliza una secuencia de procedimientos más o menos estándar, donde se filtran objetos grandes, luego se añaden coagulantes químicos al agua para formar flóculos, para luego pasar a estanques de sedimentación y nuevamente ser filtrada. Posteriormente el agua recibe un proceso de desinfección, ajuste del pH, para finalmente ser entregada por el sistema de distribución (Global Health and Education Fundation, 2007).

Aguas residuales

Las aguas residuales son todas aquellas que por uso del hombre representan un peligro, por lo que son desechadas debido a la gran cantidad de sustancias (algunas tóxicas) y microorganismos que pueden ser la causa y vehículo de contaminación en sitios donde son dispuestas sin tratamiento previo. La contaminación del agua se la puede definir como una modificación de su composición provocada generalmente por el hombre, haciéndola inadecuada y peligrosa para el consumo humano, industrial, agricultura, pesca y actividades recreativas, así mismo para animales y el medio ambiente (Espigares García & Pérez López, s/f).

Aguas de uso recreacional-playas

Las aguas recreativas se clasifican en: aguas de contacto primario, cuando en ellas se realizan actividades que requieren inmersión como natación y buceo; y en aguas de contacto secundario, donde se realizan actividades como canotaje, remo, pesca deportiva, etc. (López Sardi, García, Reynoso, González, & Larroudé). Las actividades recreativas a base de agua han sido reconocidas por su influencia positiva a la salud y el bienestar, sin embargo puede exponer a las personas a una variedad de riesgos para la salud, según el tipo de agua, ubicación geográfica, condiciones locales siendo estos vinculados a riesgos físicos, químicos y microbiológicos (World Health Organization, 2003). Uno de los principales indicadores biológicos son los *Enterococos*, a pesar de no ser causantes de enfermedades son utilizados en análisis de calidad de agua ya que su comportamiento es igual que el de los agentes patógenos de las heces (Nobel et al, 2003) (Nivelo, 2015).

METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Herramienta de investigación

Se tomaron mensualmente muestras de agua de las fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento de agua potable, sistema de distribución de agua potable, planta de tratamiento de aguas residuales y dos playas desde mayo hasta diciembre del 2016. Los análisis físicos-químicos y microbiológicos de las muestras de agua se realizaron utilizando protocolos estandarizados para el análisis de calidad de agua (APHA).

Para el análisis microbiológico de las muestras de agua se utilizó un test de sustrato cromogénico definido IDEXX en el laboratorio de Microbiología del Galápagos Science Center (LM-GSC) y los análisis físicos-químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Agua del Galápagos Science Center (LCA – GSC).

Materiales

Los materiales utilizados para la realización de este trabajo, como se puede ver en la Tabla 1, se encontraban disponibles en el LCA – GSC y el LM – GSC que fueron implementados en el 2014 para el proyecto participativo piloto de tres meses con el fin de evaluar la calidad del agua en la isla de San Cristóbal, Galápagos.

Tabla 1. Equipos y materiales de laboratorio utilizados

Cantid ad.	Equipos y materiales	Laboratorio	
38	Crisoles	LCA – GSC	
56	Pesa muestras pequeños		
32	Pesa muestras grandes		
1	DBO ₅ Oxitop		
5	Electrodo de cloruro, amonio, fluoruro, nitrato y referencia		
1	Equipo de Filtración.		
1	Bomba de vacío		
1	Espectrofotómetro		
2	Horno		
1	Kit cloro residual (Compact Photometer PF-3)		
1	Medidor de turbidez		
1	Mufla		
1	Multiparámetro YSI		
1	Orion AQUA fast Thermoreactor		
1	Thermo Scientific Orion Star A3290		
2	Agitador magnético		
2	Incubadora		LM - GSC
1	Luz UV		
1	Sellador Quanti-Tray IDEXX		
200	Bandeja Quanti-Tray IDEXX		

Recolección de muestras de agua

La recolección de las muestras se realizó la última semana de cada mes, de las fuentes de abastecimiento, plantas de tratamiento de agua potable, sistema de distribución de agua potable, planta de tratamiento de aguas residuales y dos playas. En la Tabla 2 se muestra cada uno de los sitios de muestreo y el número de muestras tomadas en los mismos. Además los envases utilizados para la recolección de las muestras fueron previamente etiquetados con la siguiente información: número de muestra, fecha y hora de toma, nombre del responsable e identificación del punto de muestreo. Para cada sitio se utilizó 3 envases: una botella de ámbar de 1 L, una botella plástica nalgene de 125 mL y un envase estéril IDEXX de 100 mL (en la Tabla 3 se especifica el parámetro y envase utilizado).

En las fuentes de abastecimiento se tomó muestra del agua superficial, mientras que para el sistema de distribución primero se dejó que corra el agua para

luego ser recolectadas en sus respectivos envases. Por otro lado, para la planta de tratamiento de aguas residuales se tomó una muestra compuesta durante 8 horas del afluente y efluente y en las playas se tomó muestra del agua superficial aproximadamente a 50 cm de profundidad y en contracorriente.

Cada una de las muestras recolectadas fueron conservadas en un cooler con ice packs para su preservación y de forma inmediata fueron transportadas al Laboratorio de Calidad de Agua (LCA-GSC) para su posterior refrigeración hasta que se realice el ensayo respectivo.

Tabla 2. Sitios de muestreo y número de muestras

No. Sitio	Sitios de muestreo	No. de Muestra
Fuentes de agua		
6	Cerro Gato (CGS)	1
5	La Toma (LTS)	1
Planta Potabilizadora (afluente-efluente)		
14	El Progreso afluente (EP_WTP IN)	1
15	El Progreso efluente (EP_WTP OUT)	1
16	Las Palmeras afluente (LP_WTO IN)	1
17	Las Palmeras efluente (LP_WTP OUT)	1
Sistema de distribución		
7	Lavabo GSC (GSC)	1
8	Baños públicos, Malecón (TB)	1
10	Casa cisterna (BHC)	1
11	Casa lavabo (BHT)	1
9	Vulcanizadora (MS)	1
12	Baños públicos, El Progreso (PB)	1
13	Agua “El Progreso” (AEP)	1
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales		
18	Planta Aguas Residuales afluente (WWTP_IN)	1
19	Planta Aguas Residuales efluente (WWTP_OUT)	1
Playas		
1	La Lobería lado derecho (LRR)	1
2	La Lobería lado izquierdo (LLL)	1
4.1	Punta Carola lado derecho (LCR)	1
4	Punta Carola lado izquierdo (LCL)	1
3	Carola Discharge Point (LCD)	1
20	Total sitios	Total muestras
		20

Tabla 3. Tipo de envase utilizado en la toma de muestras de acuerdo al parámetro a analizar

Parámetro	Tipo de envase		
	Ámbar 1L	Nalgene 125mL	IDEXX 100mL
Amonio		X	
Cloro Residual	X		
Cloruro		X	
Conductividad	N/A		
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	X		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	X		
Fluoruro		X	
Fosfato	X		
Nitrato		X	
Oxígeno Disuelto (OD)	N/A		
pH		X	
Presión	N/A		
Sólidos Totales (TS)	X		
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	X		
Sulfato	X		
Sulfuro	X		
Temperatura	N/A		
Turbidez	X		
Coliformes totales			X
<i>Echerichia coli</i>			X
<i>Enterococcus</i>			X

N/A: No aplica

Análisis Físico-Químico y Microbiológico

En la Tabla 4 se puede apreciar cada uno de los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados de acuerdo al tipo de muestra. Para las muestras de las fuentes de abastecimiento, plantas potabilizadoras y el sistema de distribución se midió 18 parámetros mensualmente. En las muestras de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales se midió 20 parámetros y en las muestras de agua de las playas se midió 11 parámetros por mes.

Tabla 4. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos analizados

Parámetro	Muestras de agua				
	Fuentes	Plantas Potabilizadoras	Sistema de distribución	Planta Aguas Residuales	Playas
Amonio	X	X	X	X	
Cloro Residual	X	X	X	X	X
Cloruro	X	X	X	X	
Conductividad	X	X	X	X	X
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)				X	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)				X	
Fluoruro	X	X	X	X	
Fosfato	X	X	X	X	
Nitrato	X	X	X	X	
Oxígeno Disuelto (OD)	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X
Presión	X	X	X	X	X
Sólidos Totales (TS)	X	X	X	X	X
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	X	X	X	X	X
Sulfato	X	X	X	X	X
Sulfuro	X	X	X	X	
Temperatura	X	X	X	X	X
Turbidez	X	X	X	X	X
Coliformes totales	X	X	X	X	
<i>Echerichia coli</i>	X	X	X	X	
<i>Enterococcus</i>					X

■ Parámetros *In Situ*

Mediciones *in situ*

Los parámetros que varían con el tiempo como: conductividad, temperatura, pH y oxígeno disuelto, deben medirse inmediatamente en el sitio de muestreo (*in situ*) para lo cual se utilizó un multiparámetro portátil YSI Profesional Plus. Para la medición de los parámetros mencionados, se introdujeron los electrodos en el agua, hasta que se estabilicen las lecturas y posteriormente ser guardadas en el equipo. Cada parámetro fue medido por triplicado en cada sitio de muestreo.

Métodos analíticos

En el LCA-GSC se analizaron los siguientes parámetros: amonio, cloro residual, cloruro, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fluoruro, fosfato, nitrato, pH, sólidos totales, sólidos totales suspendidos, sulfato, sulfuro y turbidez. Por otro lado, en el LM-GSC se realizaron los análisis de: Coliformes totales, *Echerichia coli* y *Entero cocos*. Cada uno de los análisis se realizó con protocolos estandarizados para el análisis de agua (APHA-American Public Health Association).

Medición de cloruro, amonio y nitrato

Se midieron utilizando electrodos Orion ion-selective (ISE) (Thermo Scientific, Beverly, MA, USA). En la medición de amonio se utilizó además un electrodo de referencia. En primer lugar se realizó una curva de calibración para cada ion en los intervalos de concentración bajos y medios utilizando soluciones estándar entre 0-1-10-100-1000 mg L⁻¹ preparadas a partir de soluciones madre de 1000 mg L⁻¹. Las soluciones madre fueron preparadas a partir de cloruro de sodio (NaCl) para Cloruro, a partir de cloruro de amonio (NH₄Cl) para Amonio y a partir de nitrato de sodio (NaNO₃) para Nitrato (Ochoa-Herrera, Eskew, Overbey, Palermo, & Peñafiel, 2014). Para la medición de Cloruro se tomó 10 mL de cada estándar y se añadió 0,2 mL de solución de ajuste de fuerza iónica (ISA) (Thermo Scientific, Beverly, MA, USA). En el caso de Amonio se tomó 10 mL de cada estándar y se añadió 1 mL de solución de ajuste de fuerza iónica (ISA), la solución ISA se preparó a base de acetato de magnesio 0,25 M y ácido acético 0,5 M. Para Nitrato se tomó 10 mL de cada estándar y se añadió 0,2 mL de solución de ajuste de fuerza iónica (ISA) (Thermo Scientific, Beverly, MA, USA).

En cada caso se registró la respuesta del ISE en mV y con los valores obtenidos se graficaron en función del logaritmo natural de la concentración de iones. Así mismo cada una de las muestras fueron medidas y la concentración de cada ion fue calculado en base a las curvas de calibración obtenidas (Ochoa-Herrera, Eskew, Overbey, Palermo, & Peñafiel, 2014).

Medición de Cloro Residual

Para la medición de Cloro Residual en agua dulce y agua de playas se utilizó un equipo Compact Photometer PF-3 (Macherey-Nagel) y un test colorimétrico Viso color Eco Chlorine 2, free + total. El método 5152 se utilizó en agua dulce, se tomó 5 mL de la muestra y se colocó en el tubo de ensayo, se añadió 3 gotas de Cl₂-1 y 3 gotas de Cl₂-2, se agitó y se esperó 2 minutos para finalmente medir. El método 5172 se utilizó en agua de mar, siguiendo el mismo procedimiento previamente descrito.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno se determinó a través de un método colorimétrico a una longitud de onda de 600 nanómetros. Se realizó una curva de calibración a partir de una solución madre de 1000 mg O₂ L⁻¹ de Ftalato Ácido de Potasio (KHP) en un rango de estándares de 250, 500, 750 y 1000 mg O₂ L⁻¹.

Para el análisis de la demanda química de oxígeno se utilizó el COD Kit Hanna, que contiene 25 tubos de prueba de reactivos pre dosificados listos para usar. Se colocó 2 mL de las soluciones estándar y de la muestra (N° 18 y 19 de la planta de tratamiento de aguas residuales) en cada tubo y se agitó dentro de una Sorbona (Quimis Q216-11EX). Posteriormente, se colocaron los tubos en un termoreactor (Orion AQUA fast Thermoreactor) a 150°C por 2 horas. Finalmente se mide la absorbancia a una longitud de onda de 600 nanómetros. La curva de calibración se graficó con los valores

de las concentraciones de cada estándar en función de las absorbancias obtenidas. Los valores de DQO se obtuvieron a partir de la curva de calibración construida.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno en base al día 5 se midió con el equipo Oxitop. Para realizar la medición primeramente se estima el valor de DBO₅ que se espera para la muestra de aguas residuales a partir del DQO obtenido para dicha muestra. El DBO₅ esperado es el 80% del valor de DQO. El volumen de la muestra obtenida de acuerdo al cálculo (Tabla 5), se colocó en la botella ámbar, junto con el agitador y 4 gotas de inhibidor de nitrificación; en la parte superior de la botella se colocó 4 pastillas de hidróxido de sodio (NaOH). El equipo registra cada 24 horas la medición de la DBO en la muestra por 5 días. Los valores obtenidos se multiplican por el factor correspondiente de la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de volumen de muestra y DBO5 esperado (OxiTop, 2008)

DBO₅ esperado (mg L⁻¹)	Volumen de la muestra (mL)	Factor
0 – 40	432	1
0 – 80	365	2
0 – 200	250	5
0 – 400	164	10
0 – 800	97	20.1
0 – 2000	43.5	50.3
0 – 4000	22.7	100.5

Medición de Fluoruro

El fluoruro fue medido utilizando el electrodo de ion selectivo de flúor Orion Thermo Scientific. Primeramente, se realizó una curva de calibración de bajo rango de concentración a partir de la solución madre de 1000 mg L⁻¹, la cual se preparó a partir de fluoruro de sodio (NaF) (Thermo Fisher Scientific, 2007). Para la medición de la concentración se utiliza una botella plástica nalgene de 125 mL donde se coloca 25 mL de agua destilada y 25 mL de low-level TISAB. Para la construcción de la curva de

calibración, se añadieron incrementos de la solución estándar de 10 ppm F^- como lo indica la Tabla 6. Se graficó la curva de calibración con los valores de las concentraciones de cada estándar en función de los mV obtenidos. Para la medición de cada una de las muestras, se utilizó tubos falcon de 15 mL, se añadió 1 mL de la muestra y 1 mL de low-level TISAB. La concentración de fluoruro de cada muestra se calculó en base a la curva de calibración.

Tabla 6. Adiciones del estándar de 10 ppm F^- a la solución de 25 mL de agua destilada y 25 mL de low-level TISAB

Paso	Volumen añadido (mL)	Concentración (ppm)
1	0.05	0.01
2	0.05	0.02
3	0.1	0.04
4	0.1	0.06
5	0.2	0.10
6	1	0.29
7	1	0.48

Medición de Fosfatos

Para la medición de Fosfatos, se realizó una curva de calibración a partir de una solución de 50 ppm de KH_2PO_4 . Se tomó 50 mL de la solución y se agregó una gota de indicador de pH Fenolftaleína, en caso de que se torne rojo, se agrega 1 mL de ácido clorhídrico (HCl) para disminuir la intensidad del color. Se añadió 0,4g de persulfato de amonio $[(NH_4)_2S_2O_8]$ y se puso a digerir en el horno por una hora a $150^\circ C$. Una vez frío, se añadió agua destilada hasta completar los 50 mL. Nuevamente se colocó una gota de Fenolftaleína, si la solución se torna roja se neutraliza con hidróxido de sodio (NaOH) hasta que se torne rosa. Para preparar la curva de calibración se utilizó balones de 25 mL, se agregó 5 mL del reactivo molibdato-vanadato y la cantidad indicada en la Tabla 7 de la solución de 50 ppm digerida y se aforó hasta los 25 mL.

Tabla 7. Concentraciones Curva Calibración Fosfato

Concentración de estándar (ppm)	Volumen (mL) de la solución de 50 ppm PO_4^{3-}P
0 (blanco)	0
1	0,5
2,5	1,25
5	2,5
7,5	3,75
10	5
12,5	6,25
15	7,5

Para la medición de las muestras se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito. En balones de 25 mL se agrega 5 mL del reactivo molibdato-vanadato y se agregó de 2,5 a 15 mL de la muestra, finalmente se afora hasta los 25mL. La cantidad de muestra que se use depende de la cantidad de fósforo presente, por lo que se verifica visualmente la semejanza con los estándares. Después se midió la absorbancia en el espectrofotómetro a 470 nanómetros y se graficó la curva de calibración con los valores de las concentraciones de cada estándar en función de las absorbancias obtenidas. Finalmente, en base a los mg de Fosfato obtenidos a partir de la curva de calibración, se calcula el valor de Fósforo por los mililitros de muestra usados.

$$\text{mg L}^{-1} = \frac{\text{mg P (en 25mL de volumen final)}}{L \text{ de muestra (puede estar en el rango 0.0025 a 0.015 L)}}$$

Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales

Para la medición de Sólidos Totales, se utilizó 50 mL de muestra que fueron colocados en crisoles previamente pesados y colocados a 550 °C por 3 horas en la mufla (Horno de Mufla- Optic Ivymen System). Luego fueron colocados durante toda la noche en un horno (Estufa Memmert) a 105 °C. Finalmente, luego de enfriar, se pesó los crisoles. Para determinar los sólidos totales se utilizó la Ecuación 1.

$$ST \text{ g L}^{-1} = \frac{(\text{peso de muestra seca + crisol}) - \text{peso del crisol}}{\text{Volumen de la muestra}} \quad (\text{Eq.1})$$

Por otro lado, para la medición de los Sólidos Suspendedos Totales se utilizó filtros de microfibras de vidrio Whatman de 1,2 μm de poro y 4,7 cm de diámetro para las muestras de playa; mientras que para las muestras de agua para consumo humano y aguas residuales se utilizó filtros de 0,45 μm de poro, los cuales fueron previamente pesados (filtro + pesa muestras). Luego se colocaron en el equipo de filtración al vacío y se agregó 50 mL de la muestra. Una vez filtrada la muestra, se colocó el filtro en un pesa muestra y se dejó en el horno (Estufa Memmert) a 105 °C durante toda la noche. Finalmente se pesó nuevamente. La Ecuación 2 fue utilizada para determinar los sólidos totales suspendidos.

$$SST \text{ g L}^{-1} = \frac{(\text{peso de muestra seca + filtro}) - \text{peso del filtro}}{\text{Volumen de la muestra}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Medición de Sulfatos

La medición de Sulfatos se realizó utilizando 15 mL de muestra previamente filtrada y ajustada a un pH menor a 3 con ácido clorhídrico (HCl). Luego se añadió 15 mL de una solución de cloruro de bario ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y se dejó reposar durante una hora para que se precipite el sulfato presente como sulfato de bario (BaSO_4). A continuación las muestras se filtraron al vacío utilizando filtros de microfibras de vidrio Whatman, los cuales fueron colocados en un pesa muestra y se dejaron en el horno (Estufa Memmert) durante 8 horas a 105 °C. La cantidad de sulfato de bario fue determinada por la diferencia entre el peso del filtro y el peso del filtro con la muestra seca.

Medición de Sulfuros

Para la medición de Sulfuros se elaboró una curva de calibración a partir de una solución de 10 mg L^{-1} de sodio sulfuro nano hidratado ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Se utilizó balones de 25 mL en los cuales se colocó 5 mL de cloruro de zinc (ZnCl_2), 2,5 mL de

DMP (N, N-dimetil-p-fenil oxalato de diamina), 0,125 mL de solución de sulfato de amonio y hierro y los volúmenes indicados en la Tabla 8 de la solución de 10 ppm. Finalmente se aforó hasta los 25 mL.

Tabla 8. Concentraciones Curva Calibración Sulfuro

ppm S ²⁻	Volumen (solución de 10ppm)
0,05	125 µL
0,1	250 µL
0,25	625 µL
0,5	1,250 ml
0,75	1,875 ml
1	2,5 ml
Blanco	---

Para medir las muestras de igual manera se utilizaron balones de 25 mL, se agregó 5 mL de ZnCl₂, 2,5 mL de DMP, 0,125 mL de solución de sulfato de amonio y hierro y se colocó 0,1 mL de la muestra, con la finalidad de no exceder 1mg L⁻¹ de S²⁻ y se aforó con agua destilada hasta los 25 mL. La curva de calibración y las muestras se midieron en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 670 nanómetros. Se graficó la curva de calibración con los valores de las concentraciones de cada estándar en función de las absorbancias obtenidas, finalmente en base a los mg S²⁻ obtenidos en cada muestra a partir de la curva de calibración.

Medición de Turbidez

La Turbidez se midió utilizando el equipo Thermo Scientific™ Orion™ AQ4500 Turbidity Meter, se calibró utilizando los 5 estándares de calibración primaria (0, 1, 10, 100, 1000 NTU) aprobados por la EPA-US incluidos en el kit. Posteriormente a la calibración del equipo cada una de las muestras fue medida. (Thermo Fisher Scientific Inc, 2009).

Medición de Coliformes totales y *Echerichia coli*.

Se utilizó el test de sustrato definido Colilert de IDEXX para medir Coliformes totales y *E. coli*. Se realizó el procedimiento de enumeración Quanti-Tray, donde se añadió el contenido de un test en 100 mL de la muestra en un recipiente estéril y se agitó hasta disolver. La mezcla (muestra-reactivo) se vertió en una bandeja Quanti-Tray para ser sellada en el IDEXX Quanti-Tray Sealer. Posteriormente se colocó las bandejas en una incubadora a 37°C durante 24 horas. Finalmente, se contó los pocillos positivos: amarillo positivo para coliformes totales. Adicionalmente bajo una luz UV, se contó los pocillos positivos para *E. coli* (IDEXX, 2015). Para la determinación del NMP, se utilizó el software IDEXX MPN Generator.

Medición de *Enterococos*.

Se utilizó el test de sustrato definido Enterolert de IDEXX para medir *Enterococos*. Se realizó el procedimiento de enumeración Quanti-Tray, donde se añadió el contenido de un test en 100 mL de la muestra, diluida 1:10 previamente, en un recipiente estéril y se agitó hasta disolver. La mezcla (muestra-reactivo) se vertió en una bandeja Quanti-Tray para ser sellada en el IDEXX Quanti-Tray Sealer. Posteriormente se colocó las bandejas en una incubadora a 42°C durante 24 horas. Finalmente, se contó los pocillos positivos bajo una luz UV: fluorescente azul positivo para *Enterococos*. (IDEXX, 2015). Para la determinación del NMP, se utilizó el software IDEXX MPN Generator.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se realizó según la Norma Técnica de Calidad Ambiental del INEN y Descarga de Efluentes para cuerpos de agua establecida en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA)(MAE, 2003). En el caso de las muestras de fuentes de agua (abastecimiento) los resultados de los parámetros se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional y Tabla 2: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran desinfección (MAE, 2003). Para las muestras de agua de las plantas de tratamiento y sistema de distribución se comparó con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 requisitos del agua potable, que es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011 (INEN, 2014). Para las muestras de agua de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales se comparó con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA Libro IV, Anexo 1, Tablas 12 y 13: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y Límites de descarga a un cuerpo de agua marina respectivamente. Para el agua de mar se utilizaron los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, Libro IV, Anexo 1, Tabla 9: Criterios de calidad de agua destinada para fines recreativos (MAE, 2003).

Fuentes de agua para consumo humano

Las fuentes de agua (abastecimiento), Cerro Gato y La Toma, donde se tomó una muestra mensual y se realizó los análisis de los parámetros antes descritos (Tabla 4) los cuales fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 1 y 2 (MAE, 2003). En la Tabla 10-11 se presenta un resumen de los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos de las muestras de fuentes de agua para consumo humano, estos valores corresponden a 8 meses de monitoreo, que comprende los meses entre Mayo y Diciembre de 2016.

Tabla 9. Límites máximos permisibles para la calidad de agua de consumo humano basados en la legislación ecuatoriana vigente

Parámetro	unidad	TULSMA: Libro VI, Anexo 1, Tabla 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.	TULSMA: Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran desinfección.
Amonio	mg L ⁻¹	0,05	-
Cloro Residual		-	-
Cloruro		250	250
Conductividad		-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2	2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-
Fluoruro	mg/L	1,5	< 1,4
Fosfato	mg/L	-	-
Nitrato	mg/L	10	10
Oxígeno Disuelto (OD)		No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
pH		6 – 9	6 – 9
Presión		-	-
Sólidos Totales (TS)	mg/L	-	-
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	mg/L	-	-
Sulfato	mg/L	400	250
Sulfuro		-	-
Temperatura	°C	condición natural +/- 3°	condición natural +/- 3°
Turbidez	NTU	100	10
Coliformes totales		3000	50
<i>Echerichia coli</i>		-	-

Tabla 10. Resumen análisis físico-químicos de las fuentes de agua

Sitio	Amonio [NH ₄ ⁺] (mg L ⁻¹)		Cloruro [Cl ⁻] (mg L ⁻¹)		Conductividad (μS cm ⁻¹)		Fluoruro (mg L ⁻¹)		Nitrato [NO ₃ ⁻] (mg L ⁻¹)		pH (Unidades de pH)		Cloro Residual (mg L ⁻¹)
Cerro Gato	0,19	± 0,02	6,45	± 0,45	87,21	± 31,13	0,03	± 0,00	11,81	± 0,59	7,95	± 0,95	<0,05
La Toma	0,47	± 0,06	11,16	± 0,62	46,10	± 33,57	0,20	± 0,05	13,00	± 1,20	7,08	± 1,16	<0,05

Tabla 11. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de las fuentes de agua

Solidos Totales (mg L ⁻¹)			Solidos Suspendedos Totales (mg L ⁻¹)			Turbidez (NTU)	Fosfatos (mg L ⁻¹)			Sulfuros (mg L ⁻¹)			Sulfato (mg L ⁻¹)		OD (mg L ⁻¹)	T °C	P mmHg	Sal ppt	
137,5	±	0,02	67,5	±	0,03	4,04	3,98	±	1,71	4,95	±	0,45	130,34	±	38,81	7,49	21,39	739,93	0,04
100,0	±	0,04	80,0	±	0,03	4,28	1,96	±	0,11	5,34	±	0,00	161,21	±	19,40	3,79	20,67	719,88	0,02

Las variaciones de amonio, cloruro, nitrato y fluoruro durante el monitoreo se puede observar en la Figura 3. La concentración promedio de amonio fueron en Cerro Gato 0,19 mg L⁻¹ y La Toma 0,47 mg L⁻¹; de acuerdo a la Figura 3A, se puede comprobar que la fuente de abastecimiento La Toma registra concentraciones superiores de amonio en comparación con Cerro Gato, sin embargo en dos muestras (Julio-Agosto) los valores obtenidos de La Toma fueron inferiores a las de Cerro Gato.

En la Figura 3B se representa las concentraciones de cloruro que son muy similares entre los dos sitios excepto en la muestra LTS del mes de agosto que se registró una concentración de 57,20 mg L⁻¹, la concentración promedio de cloruro en Cerro Gato y La Toma fueron de 6,45 y 11,16 mg L⁻¹, respectivamente. Para nitratos en la Figura 3C se muestran las concentraciones de las dos fuentes de abastecimiento las cuales fueron muy variables en las muestras de los diferentes meses de monitoreo, los valores promedio en nitratos fueron Cerro Gato 11,81 mg L⁻¹ y La Toma 13,00 mg L⁻¹. Por otro lado, en la Figura 3D se ilustran las concentraciones de fluoruro en las fuentes de abastecimiento donde se puede observar que en las muestras del punto LTS las

concentraciones son superiores al punto CGS, las mismas que no exceden los 0,42 mg L⁻¹.

En cuanto a los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional y que únicamente requieran desinfección, establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tablas 1 y 2 respectivamente (MAE, 2013), los parámetros monitoreados entre los meses de mayo-diciembre de las fuentes de abastecimiento de Cerro Gato cumplen con los valores expresados en la Tabla 9 a excepción de amonio con un promedio de 0,19 mg L⁻¹, siendo lo permitido 0,05 mg L⁻¹; y nitrato con un promedio de 11,81 mg L⁻¹, siendo lo permitido 10 mg L⁻¹. Por otro lado, la fuente de abastecimiento La Toma así mismo no cumple con los requerimientos tanto en amonio con un promedio de 0,47 mg L⁻¹, siendo lo permitido 0,05 mg L⁻¹ y nitrato con un promedio de 13,00 mg L⁻¹, siendo lo permitido 10 mg L⁻¹. A diferencia de Cerro Gato, en La Toma se registró valores de oxígeno disuelto menor a los permitidos en la legislación con un valor promedio de 3,79 mg L⁻¹ tanto para agua que únicamente requiere tratamiento convencional y el agua que únicamente requiere desinfección.

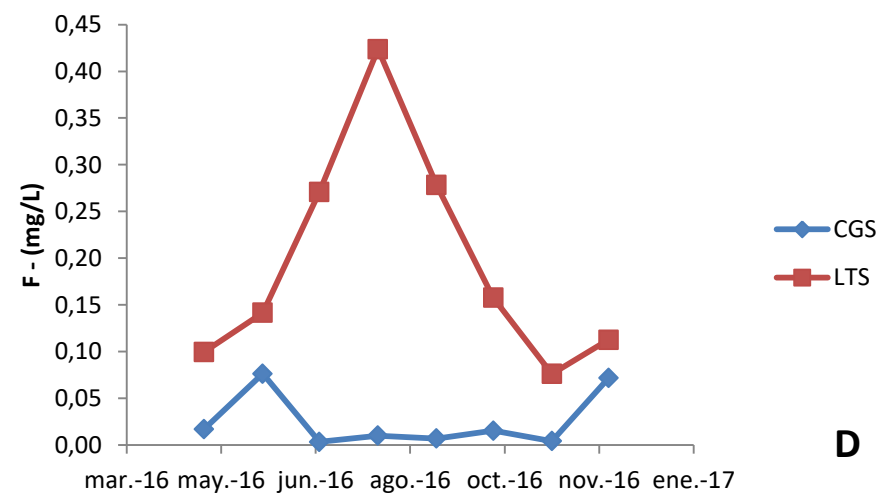
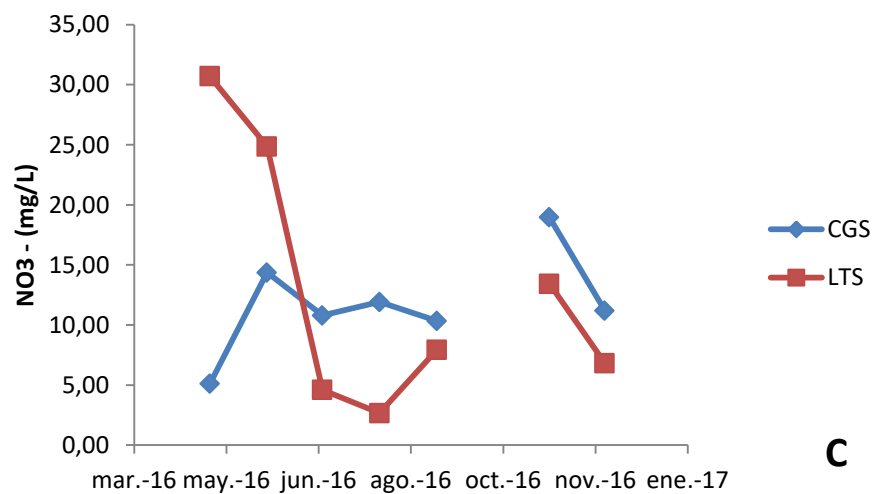
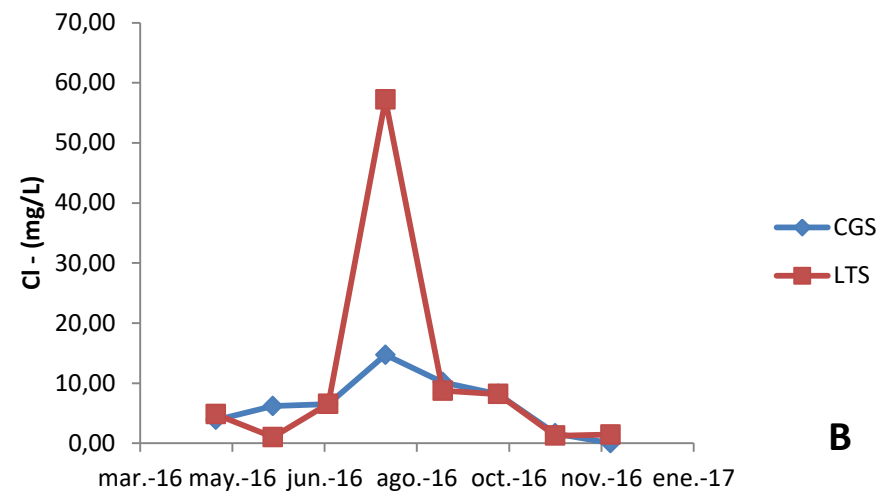
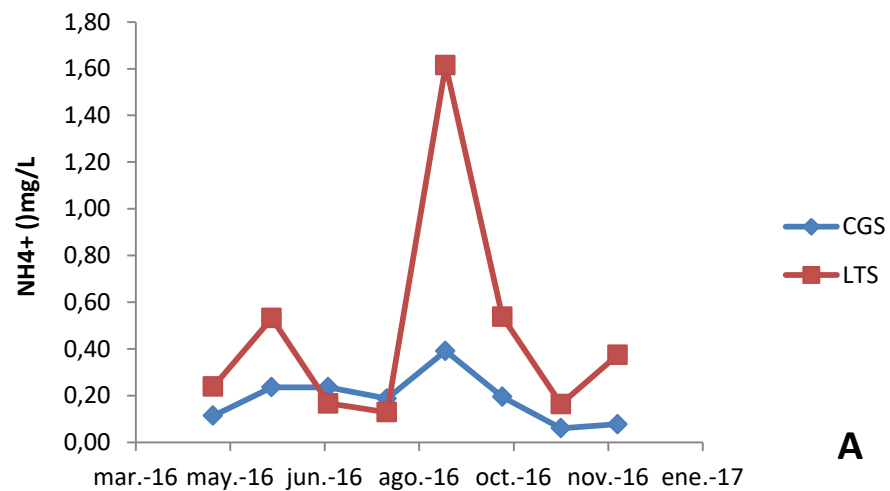


Figura 3. Variación de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en las fuentes de abastecimiento durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: CGS = Cerro Gato Spring y LTS = La Toma Spring.

La temperatura entre las dos fuentes de abastecimiento Cerro Gato y La Toma son similares con valores promedio de 22,40 y 21,24 °C, respectivamente, en la Figura 4A podemos ver la relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto ya que al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua; de igual manera, con el aumento de la salinidad en el agua, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye como se puede observar en la Figura 4B que está representado la relación entre salinidad y conductividad (California Environmental Protection Agency). Tanto la turbidez como los sólidos totales se muestran en la Figura 4C. Los valores promedio de OD en Cerro Gato son de 7,49 mg L⁻¹ y La Toma de 3,79 mg L⁻¹; de salinidad en CGS de 0,04 ppt y LTS de 0,02 ppt; sólidos totales y sólidos suspendidos totales en CGS de 137,5 y 67,5 mg L⁻¹ en LTS de 100 y 80 mg L⁻¹ respectivamente; con una conductividad promedio de 87,21 μS cm⁻¹ en CGS y 46,10 μS cm⁻¹ en LTS, un pH entre 6-8 en las dos fuentes de abastecimiento con un valor promedio de 7,95 en CGS y 7,08 en LTS.

En cuanto fosfatos y sulfuros tienen concentraciones bajas, en la fuente de abastecimiento se tiene concentraciones de fosfato que no pasan de 4 mg L⁻¹ en Cerro Gato y La Toma con un valor promedio de 3,98 mg/L y 1,96 mg/L, respectivamente, como se puede observar en la Figura 4G-H. Para sulfatos como muestra la Figura 4F. donde la concentración promedio de Cerro Gato es 130,34 mg L⁻¹ y en La Toma es 161,21 mg L⁻¹.

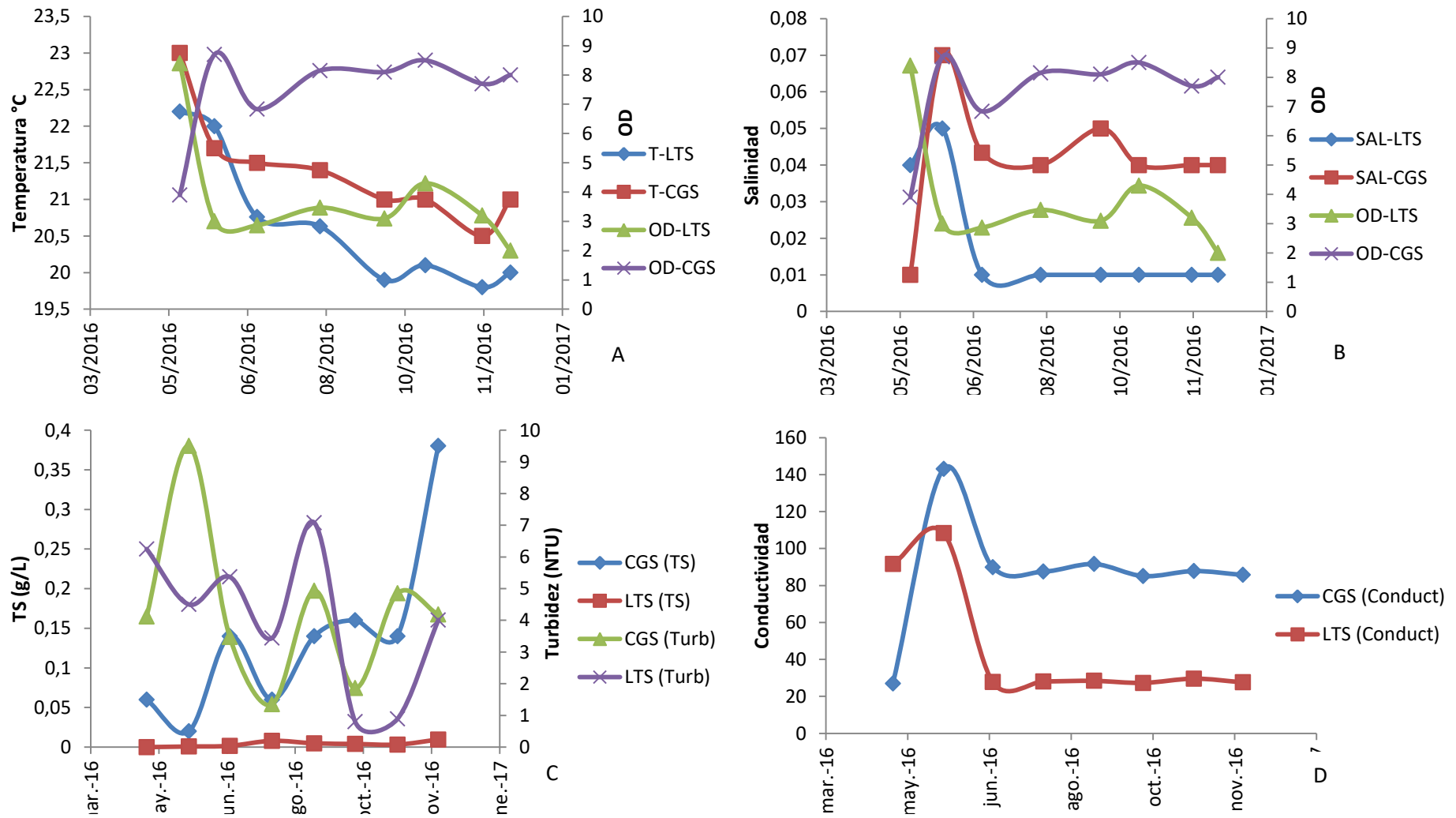


Figura 4. Variación de la temperatura-OD (A), salinidad-OD (B), sólidos totales-turbidez (C), conductividad (D), para las muestras de fuentes de abastecimiento entre Mayo-Diciembre: Leyenda CGS: Cerro Gato Spring y LTS: La Toma Spring

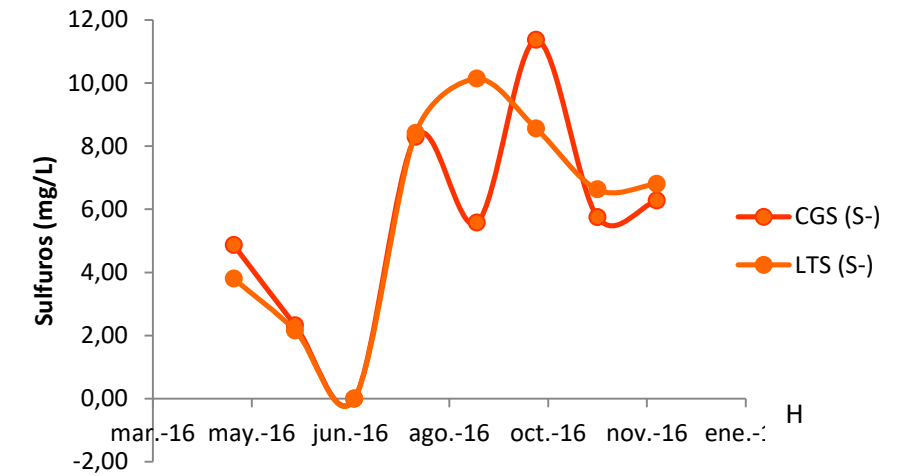
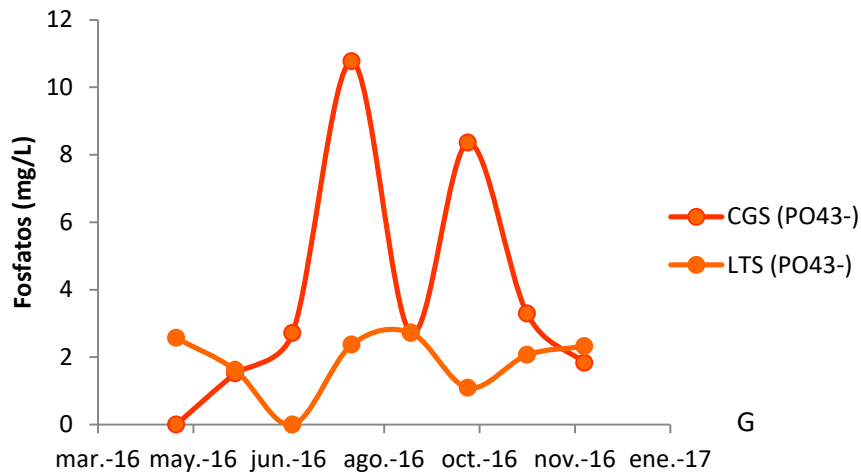
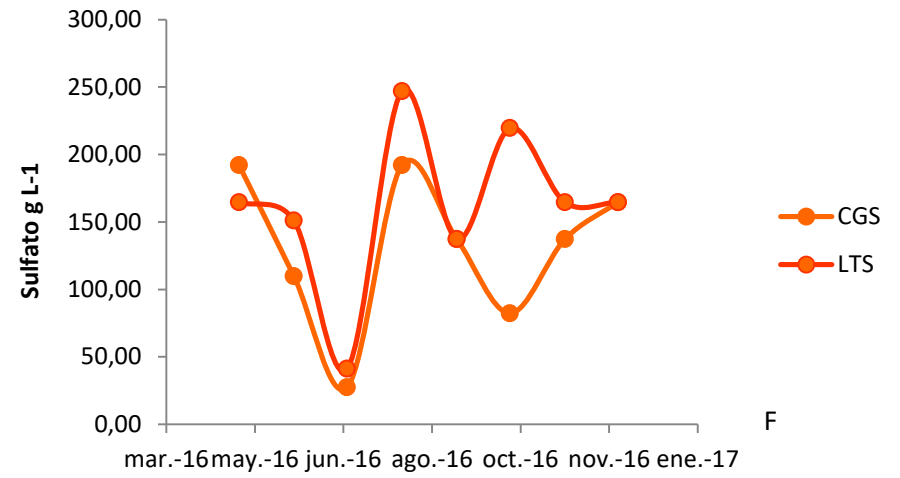
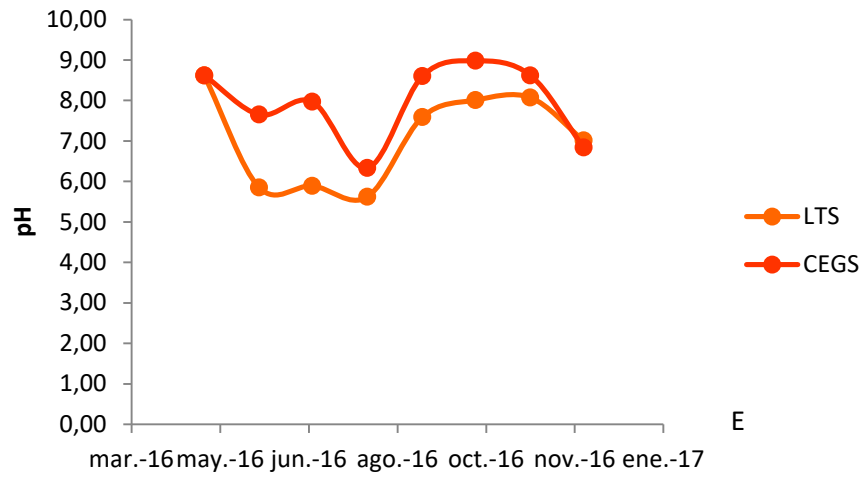


Figura 4. Continuación...Variación de pH (E), sulfatos (F), fosfatos (G) y sulfuros (H), para las muestras de fuentes de abastecimiento entre Mayo-Diciembre: Leyenda CGS: Cerro Gato Spring y LTS: La Toma Spring

El resumen de los valores obtenidos del análisis microbiológico realizado en las muestras de agua de las fuentes de abastecimiento, se encuentran en la Tabla 12. Además en la Figura 5 se puede ver la variación de la concentración de *E. coli* en el período de muestreo de mayo a diciembre de 2016.

Tabla 12. Resultados microbiológicos de las fuentes de agua

Sitio	Coliformes Totales (NMP/ 100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/ 100 mL)
Cerro Gato	12235,8 (10999,4 - infinito)	339,8 (238,2 – 399,2)
La Toma	8361 (2973 - 12290)	807 (536 - 1150)

Intervalo de confianza es de 95%, se encuentra entre paréntesis.

La concentración promedio de Coliformes Totales en Cerro Gato es de 12 235,8 NMP/100mL y en La Toma es de 8 361 NMP/100mL, así mismo los valores promedio de *E. coli* fueron de 339,8 NMP/100mL y 807 NMP/100mL respectivamente. La encañada de Cerro Gato presentó una mayor concentración de contaminantes microbiológicos. Con relación a los límites máximos permisibles, las dos fuentes de agua superan lo establecido tanto para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, como para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran desinfección. Por lo tanto, se puede afirmar que el agua proveniente de las dos fuentes debe ser tratada de una manera más sofisticada y eficiente.

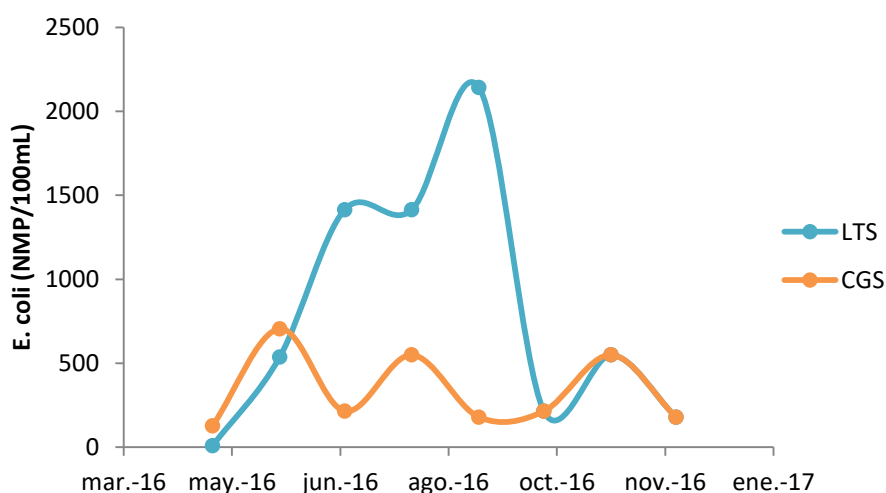


Figura 5. Variación de la concentración de *E. coli* con respecto al tiempo de muestreo en las fuentes de abastecimiento comprendido entre Mayo y Diciembre, 2016. Leyenda CGS = Cerro Gato Spring y LTS = La Toma Spring

Agua de consumo humano

Se tomó de las plantas de tratamiento de agua potable y el sistema de distribución 11 muestras de agua para consumo humano, de las cuales se realizó mensualmente los análisis físico-químicos y microbiológicos de los parámetros antes descritos en la Tabla 4. El resultado de los mismos fueron comparados con los límites máximo permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: requisitos del agua potable, que es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011 (INEN, 2014), que se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Límites máximos permisibles para la calidad de agua de consumo humano

Parámetro	unidad	INEN: Norma Técnica Ecuatoriana: Agua Potable, Tabla 1: características físicas, sustancias inorgánicas y radioactivas ¹	OMS: Guías para la calidad de agua potable ² Table A3.3 Guideline values for chemicals that are of health significance in drinking-water
Amonio		-	-
Cloro Residual	mg/L	0,3 – 1,5*	
Cloruro			250
Conductividad		-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		
Fluoruro	mg/L	1,5	1,5
Fosfato			
Nitrato	mg/L	50	50
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	-	-
pH			6 – 8,5
Presión			
Sólidos Totales (TS)	mg/L		
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	mg/L		600
Sulfato	mg/L		250
Sulfuro			
Temperatura	°C		
Turbidez	NTU	5	5
Coliformes totales		Ausente	0
<i>Echerichia coli</i>		-	-
* Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.			

¹ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 Agua Potable. Requisitos

² World Health Organization: Guidelines for Drinking-water Quality (4th edition)

Tabla 14. Resumen análisis físico-químicos de agua para consumo humano

Sitio	Amonio			Cloruro			Conductividad			Fluoruro			Nitrato			Cloro Residual
	[NH ₄ ⁺] (mg L ⁻¹)			[Cl] (mg L ⁻¹)			(μS cm ⁻¹)			(mg L ⁻¹)			[NO ₃ ⁻] (mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)
El Progreso afluente (EP_WTP IN)	0,43	±	0,06	19,47	±	1,11	119,10	±	63,95	0,06	±	0,01	10,92	±	0,48	0,26
El Progreso efluente (EP_WTP OUT)	0,52	±	0,04	15,11	±	0,54	86,48	±	33,23	0,07	±	0,01	20,96	±	4,05	0,37
Las Palmeras afluente (LP_WTO IN)	0,32	±	0,04	6,89	±	0,37	90,04	±	34,13	0,06	±	0,01	22,58	±	1,09	0,25
Las Palmeras efluente (LP_WTP OUT)	0,29	±	0,03	18,54	±	0,46	112,11	±	32,51	0,04	±	0,00	25,97	±	1,28	0,26
Lavabo GSC (GSC)	0,60	±	0,02	14,02	±	2,45	92,82	±	35,59	0,09	±	0,01	27,62	±	1,09	0,34
Baños públicos, Malecón (TB)	0,21	±	0,02	20,54	±	2,01	106,26	±	39,94	0,08	±	0,00	21,78	±	1,27	0,39
Casa cisterna (BHC)	0,25	±	0,05	18,70	±	0,94	119,01	±	9,65	0,04	±	0,00	24,87	±	0,35	0,18
Casa lavabo (BHT)	0,46	±	0,07	15,52	±	0,70	101,83	±	30,20	0,08	±	0,00	23,79	±	1,99	0,16
Vulcanizadora (MS)	0,16	±	0,02	18,71	±	0,48	126,94	±	12,10	0,17	±	0,01	25,11	±	0,98	0,21
Baños públicos, El Progreso (PB)	0,26	±	0,03	17,20	±	0,46	118,72	±	13,38	0,07	±	0,01	25,24	±	1,97	0,27
Agua "El Progreso" (AEP)	0,52	±	0,07	16,87	±	0,85	86,24	±	24,58	0,06	±	0,01	17,69	±	1,60	0,14

Tabla 15. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de agua para consumo humano

Solidos Totales			Turbidez	Fosfatos			Sulfuros			Sulfato			OD	T	P	Sal	pH		
(mg L ⁻¹)				(NTU)	(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)						(ppt)	(unidades de pH)	
57,1	±	0,02	3,46	1,59	±	0,08	5,02	±	0,35	157,78	±	29,10	7,07	21,61	655,20	0,06	7,31	±	0,52
90,0	±	0,05	0,29	1,96	±	0,14	5,08	±	0,14	169,78	±	46,08	7,86	22,21	730,66	0,04	7,84	±	0,73
110,0	±	0,05	5,12	1,74	±	0,08	4,64	±	1,13	126,91	±	29,10	10,05	26,23	752,49	0,04	8,14	±	0,83
91,4	±	0,04	0,18	0,76	±	0,09	6,99	±	0,17	102,90	±	38,81	7,84	23,21	753,23	0,04	7,59	±	0,49
85,0	±	0,04	0,24	1,03	±	0,12	6,08	±	0,55	49,73	±	36,38	7,34	25,14	758,94	0,05	8,17	±	0,53
62,5	±	0,03	0,60	1,35	±	0,22	5,46	±	0,20	90,89	±	36,38	7,92	25,20	758,16	0,08	8,59	±	0,78
175	±	0,07	0,23	0,97	±	0,13	5,01	±	0,17	102,90	±	24,25	7,20	25,25	756,61	0,05	7,90	±	0,42
68,57	±	0,05	0,41	1,14	±	0,14	4,39	±	0,18	87,46	±	26,68	7,28	26,06	681,43	0,05	7,60	±	0,26
110	±	0,02	0,42	0,91	±	0,11	5,21	±	0,08	137,20	±	58,21	7,75	25,58	755,98	0,06	7,81	±	0,44
130	±	0,05	0,39	0,64	±	0,08	6,36	±	0,41	96,040	±	32,34	7,88	24,37	740,48	0,06	7,59	±	0,34
143,4	±	0,06	0,39	0,57	±	0,09	4,61	±	0,42	117,60	±	44,35	8,71	21,87	732,34	13	7,53	±	0,47

Las variaciones de amonio, cloruro, nitrato y fluoruro durante el monitoreo en las plantas de tratamiento tanto afluente como efluente se puede observar en la Figura 6. Las concentraciones promedio de amonio fueron en El Progreso afluente $0,43 \text{ mg L}^{-1}$, El Progreso Efluente $0,52 \text{ mg L}^{-1}$, Las Palmeras Afluente $0,32 \text{ mg L}^{-1}$ y Las Palmeras Efluente $0,29 \text{ mg L}^{-1}$. De acuerdo a la Figura 6A se puede comprobar que los valores de las concentraciones entre las planta de tratamiento tanto afluentes y efluentes son similares. En la Figura 6B, se representa las concentraciones de Cloruro que son muy similares entre las dos plantas de tratamiento El Progreso y Las Palmeras entre afluente y efluente, la concentración promedio de El Progreso afluente y efluente fueron $19,47$ y $15,11 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente y Las Palmeras afluente y efluente fueron $6,89$ y $18,54 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Para nitratos en la Figura 6C se muestran las concentraciones de las dos plantas de tratamiento las cuales son muy similares excepto en el mes de noviembre donde hubo un pico en la concentración de nitrato, donde la concentración promedio de El Progreso afluente y efluente fueron $10,92$ y $20,96 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente y Las Palmeras afluente y efluente fueron $22,58$ y $25,97 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. En cuanto a fluoruros se expresa en la Figura 6D las concentraciones en las plantas de tratamiento, donde las muestras de afluente y efluente del punto El Progreso son superiores al afluente y efluente del punto Las Palmeras, las mismas que no exceden los $0,20 \text{ mg L}^{-1}$.

En cuanto a los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: requisitos del agua potable y la guía para la calidad del agua de la OMS, los parámetros monitoreados entre los meses de mayo-diciembre, de las plantas de tratamiento cumplen con los valores expresados en la Tabla 13.

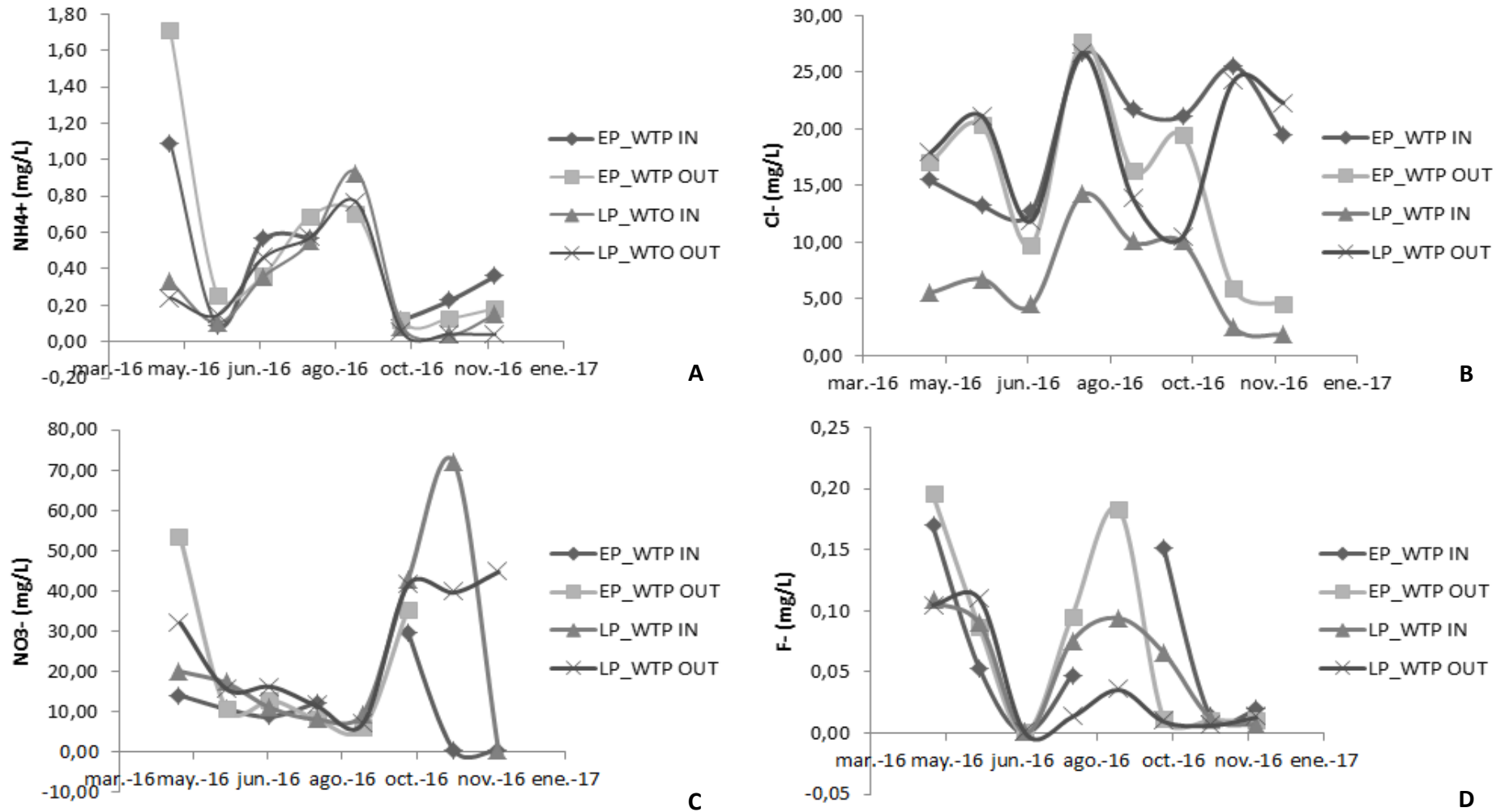


Figura 6. Variación de la concentración de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en las plantas de tratamiento durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: EP_WTP IN= El Progreso Afluyente, EP_WTP OUT= El Progreso Efluyente, LP_WTP IN= Las Palmeras Afluentes, LP_WTP OUT= Las Palmeras Efluyente.

De la misma manera, las variaciones de amonio, cloruro, nitrato y fluoruro durante el monitoreo en el sistema de distribución del agua potable se puede observar en la Figura 7. Las concentraciones de amonio (Figura 7A) no son muy variables entre cada uno de los sitios de muestreo excepto con el GSC en mayo con un valor de $2,06 \text{ mg L}^{-1}$, BTC en agosto con un valor de $2,13 \text{ mg L}^{-1}$ y en AEP en el mes de septiembre con un valor de $2,12 \text{ mg L}^{-1}$; que presentan los valores más altos en el período de monitoreo. Las concentraciones promedio en cada uno de los sitios fueron GSC $0,60 \text{ mg L}^{-1}$, TB $0,21 \text{ mg L}^{-1}$, MS $0,16 \text{ mg L}^{-1}$, BHC $0,25 \text{ mg L}^{-1}$, BHT $0,46 \text{ mg L}^{-1}$, PB $0,26 \text{ mg L}^{-1}$ y AEP $0,52 \text{ mg L}^{-1}$. La concentración promedio de cloruro fue en GSC $14,02 \text{ mg L}^{-1}$, TB $20,54 \text{ mg L}^{-1}$, MS $18,71 \text{ mg L}^{-1}$, BHC $18,70 \text{ mg L}^{-1}$, BHT $15,52 \text{ mg L}^{-1}$, PB $17,20 \text{ mg L}^{-1}$ y AEP $16,87 \text{ mg L}^{-1}$. En la Figura 7B se muestran las concentraciones de cloruro las cuales la variación en cada mes de muestreo son muy similares entre sí; las muestras que presentaron el valor más alto y variación fueron TB en el mes de julio con $61,04 \text{ mg L}^{-1}$ y MS en el mes de agosto con $51,57 \text{ mg L}^{-1}$. Para nitratos en la Figura 7C se muestran las concentraciones del sistema de distribución las cuales no fueron muy variables en las muestras de los diferentes meses de monitoreo, excepto en tres sitios que presentaron una concentración elevada de nitratos, en noviembre TB con $850,10 \text{ mg L}^{-1}$, en diciembre GSC con $691,76 \text{ mg L}^{-1}$ y BHC con $385,32 \text{ mg L}^{-1}$. Los valores promedio de nitratos fueron GSC $27,62 \text{ mg L}^{-1}$, TB $21,78 \text{ mg L}^{-1}$, MS $25,11 \text{ mg L}^{-1}$, BHC $24,87 \text{ mg L}^{-1}$, BHT $23,79 \text{ mg L}^{-1}$, PB $25,24 \text{ mg L}^{-1}$ y AEP $17,69 \text{ mg L}^{-1}$. En cuanto a fluoruros, las concentraciones se expresan en la Figura 7D, las mismas que en el sistema de distribución son muy variables entre los meses de monitoreo donde las muestras del punto GSC y MS presenta concentraciones superiores a los otros puntos, las mismas que no exceden los $0,46 \text{ mg L}^{-1}$. En cuanto a los límites máximos permisibles de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: requisitos del agua potable y las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, todos los sitios de muestreo el sistemas de distribución cumplen con los parámetros físico-químico expresados en la Tabla 13.

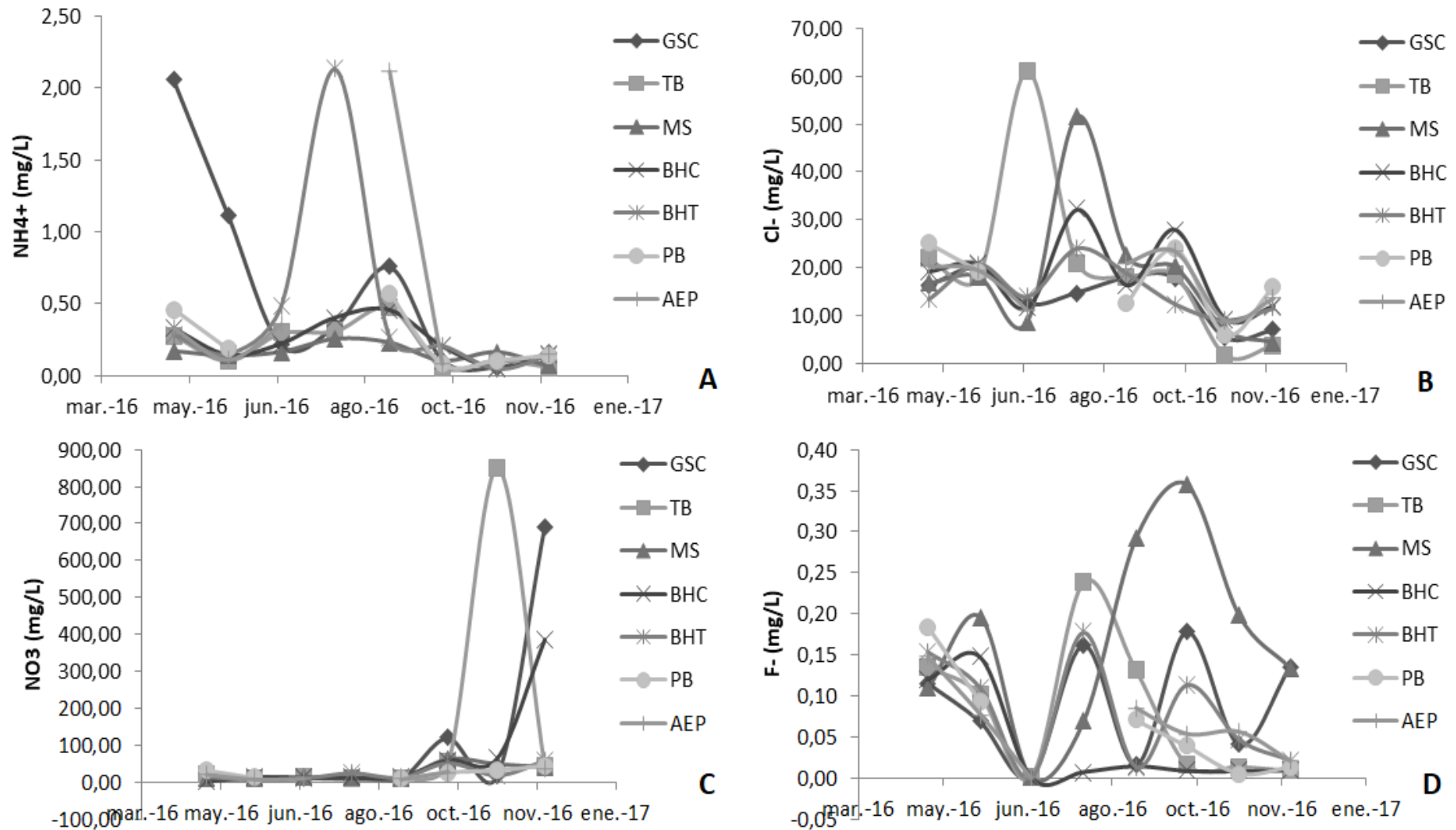


Figura 7. Variación de la concentración de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo en el sistema de distribución durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: GSC= Lavabo GSC, TB= Baños Públicos Malecón, MS= Vulcanizadora, BHC= Casa Cisterna, BHT= Casa Lavabo, PB= Baños Públicos El Progreso y AEP= Agua El Progreso

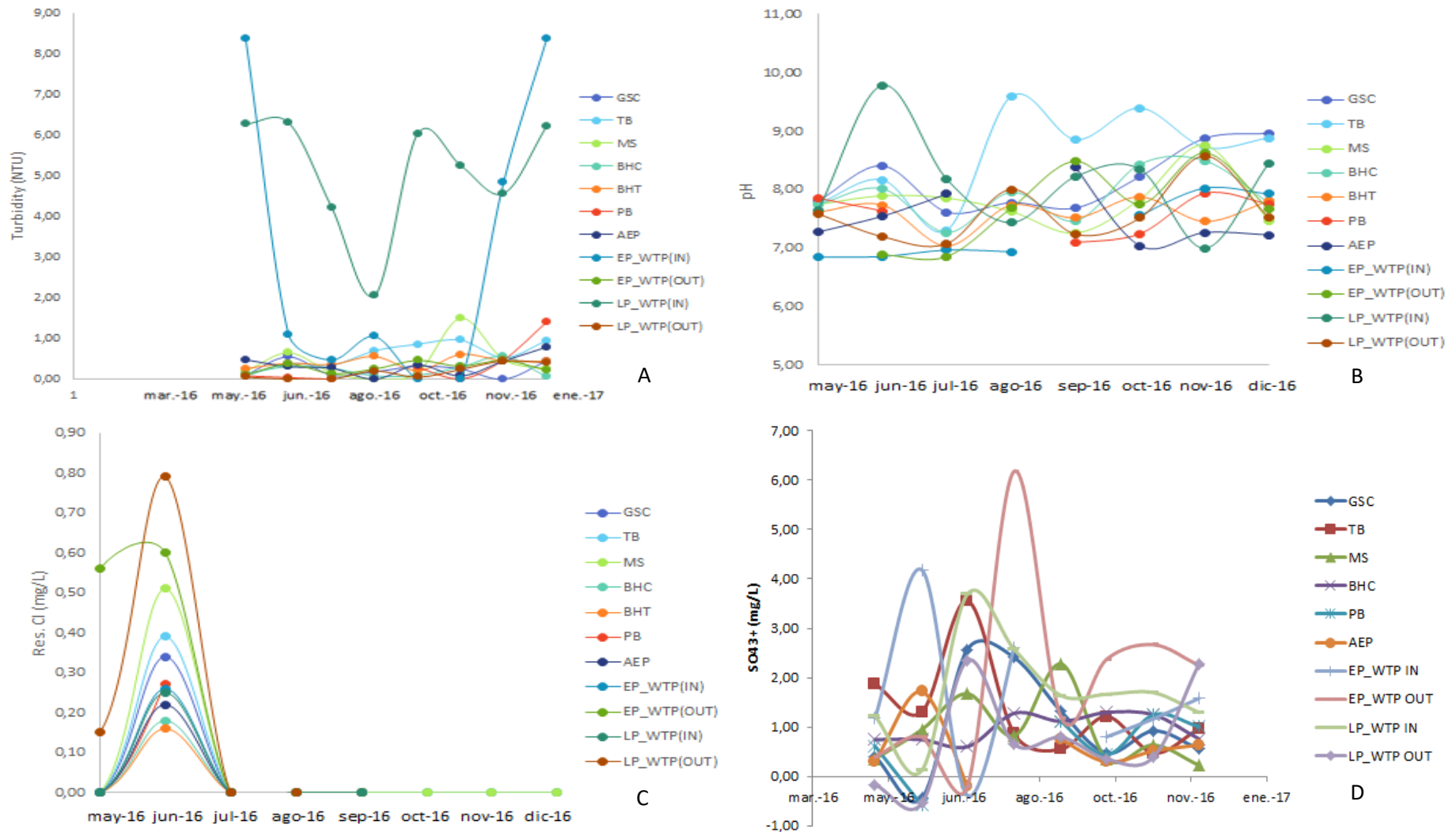


Figura 8. Variación de turbidez (A), pH (B), cloro residual (C) y fosfato (D) con respecto al tiempo en las plantas de tratamiento y sistema de distribución durante el periodo de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: GSC= Lavabo GSC, TB= Baños Públicos Malecón, MS= Vulcanizadora, BHC= Casa Cisterna, BHT= Casa Lavabo, PB= Baños Públicos El Progreso y AEP= Agua El Progreso, EP_WTP IN= El Progreso Afluente, EP_WTP OUT= El Progreso Efluente, LP_WTP IN= Las Palmeras Afluentes, LP_WTP OUT= Las Palmeras Efluente.

En la Tabla 16 se muestra los valores promedio del análisis microbiológico de las muestras de agua para consumo humano obtenidos durante el monitoreo en un período de 8 meses (mayo-junio) de 2016, en las plantas de tratamiento de agua potable y el sistema de distribución. Con estos resultados se puede observar que en el caso de las plantas de tratamiento de agua potable la reducción de contaminantes microbiológicos es significativo. Según las guías para la calidad del agua potable de la OMS no debería existir presencia de coliformes totales. En las muestras tomadas en el sistema de distribución en algunos sitios se registró la presencia de contaminantes microbiológicos, lo que nos indica que la distribución y el almacenamiento en los hogares no es el adecuado por lo que la calidad del agua se deteriora.

Tabla 16. Resultados análisis microbiológicos de agua para consumo humano

Sitio	Coliformes Totales (NMP/ 100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/ 100 mL)
El Progreso afluente (EP_WTP IN)	663 (968 - 1100)	118 (84 - 162)
El Progreso efluente (EP_WTP OUT)	4 (1 - 8)	1 (0 - 4)
Las Palmeras afluente (LP_WTO IN)	>2419,6 (1439,5 - infinito)	164 (98 - 212)
Las Palmeras efluente (LP_WTP OUT)	11,7 (4,9 - 15,9)	1,5 (0,1 - 4,4)
Lavabo GSC (GSC)	1 (0,0 - 3,9)	<1,0 (0,0 - 3,7)
Baños públicos, Malecón (TB)	4,2 (0,4 - 3,7)	<1,0 (0,0 - 3,7)
Casa cisterna (BHC)	778 (897 - 1746)	46 (31 - 68)
Casa lavabo (BHT)	1112 (1179 - 2005)	75 (16 - 37)
Vulcanizadora (MS)	<1,0 (0,0 - 3,7)	<1,0 (0,0 - 3,7)
Baños públicos, El Progreso (PB)	777,6 (169,4 - 395,8)	108 (12,8 - 72,6)
Agua "El Progreso" (AEP)	5,4 (0,7 - 5,9)	<1,0 (0,0 - 3,7)

Intervalo de confianza es de 95%, se encuentra entre paréntesis.

Según estudios previos como el Monitoreo de Calidad del Agua en la Isla San Cristóbal realizado por el Parque Nacional Galápagos (PNG) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), sus análisis arrojaron resultados preocupantes ya que existía contaminación fecal en el agua de abastecimiento para la población, con valores de 40 NMP/100ML en La Toma, 70 NMP/100mL en el agua de salida del tanque de almacenamiento y en la muestra tomada en un domicilio de Puerto Baquerizo Moreno 170 NMP/100mL

(Rueda, López, & Nagahama, 2008). Con esto se puede observar que la calidad del agua ha mejorado significativamente y que el tratamiento en las dos plantas potabilizadoras existentes está siendo eficiente en cuanto al tratamiento microbiológico.

Aguas residuales

Se tomó una muestra compuesta tanto en el afluente y efluente de las cuales se realizó los análisis físico-químicos y microbiológicos mensualmente, de los parámetros antes descritos en la Tabla 4. El resultado de los mismos fue comparado con los Límites de descarga efluentes a un cuerpo de agua como se puede ver en la Tabla 17.

Tabla 17. Límite de descarga efluentes a un cuerpo de agua

Parámetro	unidad	TULAS: Libro 1, Anexo 1, Tabla 12: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	TULAS: Libro 1, Anexo 1, Tabla 13: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina
Amonio		-	-
Cloro Residual	mg/L	-	-
Cloruro	mg/L	1000	-
Conductividad		-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	100	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	250	250
Fluoruro	mg/L	5	5
Fosfato		-	-
Nitrato	mg/L	10	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	-	-
pH		5 - 9	6 - 9
Presión		-	-
Sólidos Totales (TS)	mg/L	1600	
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	mg/L	100	100
Sulfato	mg/L	1000	-
Sulfuro	mg/L	0,5	0,5
Temperatura	°C	< 35	< 35
Turbidez	NTU	-	-
Coliformes totales		-	-
<i>Echerichia coli</i>		-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Remoción > al 99,9 % ³	Remoción > al 9,9 % ⁴

³ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

⁴ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Tabla 18. Resumen análisis físico-químicos de aguas residuales

Sitio	Amonio			Cloruro			Conductividad			Fluoruro			Nitrato			pH			Cloro Residual
	[NH ₄ ⁺] (mg L ⁻¹)			[Cl ⁻] (mg L ⁻¹)			(μS cm ⁻¹)			(mg L ⁻¹)			[NO ₃ ⁻] (mg L ⁻¹)			(Unidades de pH)			
Planta Aguas Residuales Afluyente (WWTP_IN)	85,39	±	1,48	200,16	±	9,35	1388,37	±	359,49	0,10	±	0,01	459,12	±	21,44	6,99	±	0,46	1,60
Planta Aguas Residuales Efluente (WWTP_OUT)	38,14	±	0,63	99,98	±	7,79	1004,56	±	403,19	0,14	±	0,05	395,97	±	37,46	8,01	±	0,68	0,06

Tabla 19. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de aguas residuales

Sólidos Totales			Sólidos Suspendidos Totales			Turbidez	Fosfatos			Sulfuros			Sulfato		OD	T	P	Sal	DQO	DBO ₅	
(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)				(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)								
3010	±	0,11	1142,5	±	0,21	891,50	56,17	±	0,61	18,31	±	0,22	142,34	±	46,08	0,54	26,16	754,88	0,66	5766,36	3142,6
430	±	0,10	197,50	±	0,06	49,43	6,99	±	0,12	6,62	±	0,06	159,49	±	41,23	3,15	27,44	756,66	0,50	298,49	162,83

Las variaciones de amonio, cloruro, nitrato y fosfato durante el monitoreo en la planta de tratamiento de aguas residuales tanto afluente como efluente se puede observar en la Figura 9. La concentración promedio de amonio fue para el afluente $85,39 \text{ mg L}^{-1}$ y en el efluente $38,14 \text{ mg L}^{-1}$, las concentraciones de amonio durante el monitoreo se puede ver en la Figura 9A. La concentración promedio de cloruro fue para el afluente y efluente con $200,16 \text{ mg L}^{-1}$ y $99,98 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, lo cual se muestra en la Figura 9B. Para nitrato en las muestras de la planta de tratamiento tuvo un valor promedio en el afluente $459,12 \text{ mg L}^{-1}$ y en el efluente $395,97 \text{ mg L}^{-1}$, representado en la Figura 9C. En cuanto a fluoruros entre los dos sitios no sobre pasan valores de $0,14 \text{ mg L}^{-1}$, lo que quiere decir que no tuvieron mucha variación con relación al tiempo y se puede observar en la Figura 9D. Además, en los valores obtenidos en estos cuatro parámetros se puede evidenciar la reducción de las concentraciones del agua residual después del tratamiento.

La presencia de sulfuros en las muestras de agua, es un indicador de contaminación por: drenaje ácido de minas, aguas negras, aguas residuales, aunque se debe tomar en cuenta que su presencia en aguas superficiales es muy escasa (Generalitat de Catalunya). En los puntos de muestreo de la planta de tratamiento de aguas residuales se obtuvo un valor promedio de la concentración de sulfuros en el Afluente de $18,21 \text{ mg L}^{-1}$ y en el efluente de $6,62 \text{ mg L}^{-1}$, reduciendo su concentración después del tratamiento para su posterior descarga. Por otro lado, en aguas superficiales los compuestos de fósforo son nutrientes para las plantas y ayudan al crecimiento de las algas; dependiendo de las concentraciones de fosfato existente en el cuerpo de agua puede darse un proceso de eutrofización, los mismos que provienen de fertilizantes, detergentes y productos de limpieza (INTERPRESAS: QUIMICA, 2010). La concentración promedio de fosfatos en el afluente de la planta de tratamiento de aguas

residuales es de 56,17 mg L⁻¹ y para el efluente con una concentración de 6,62 mg L⁻¹ el cual es descargado en la zona de Punta Carola.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) para el afluente y en el efluente es de 5766,36 y 298,49 mg L⁻¹. Así mismo, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 3142,6 y 162,83 mg L⁻¹, respectivamente. Lo que nos indica que existe una reducción significativa de materia orgánica entre otros, que consumen el oxígeno disuelto en los cuerpos de agua donde son descargados.

En cuanto a los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, Libro IV, Anexo 1, Tabla 13 Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. El efluente cumple con los límites establecidos a excepción de DBO₅ con 162,83 mg L⁻¹, siendo lo permitido 100 mg L⁻¹; DQO con 298,49 mg L⁻¹, siendo lo permitido 250 mg L⁻¹; nitrato 395,97 mg L⁻¹, siendo lo permitido 10 mg L⁻¹; sólidos totales suspendidos con 197,50 mg L⁻¹, siendo lo permitido 100 mg L⁻¹ y en Sulfuros con 6,62 mg L⁻¹, siendo lo permitido 0,5 mg L⁻¹.

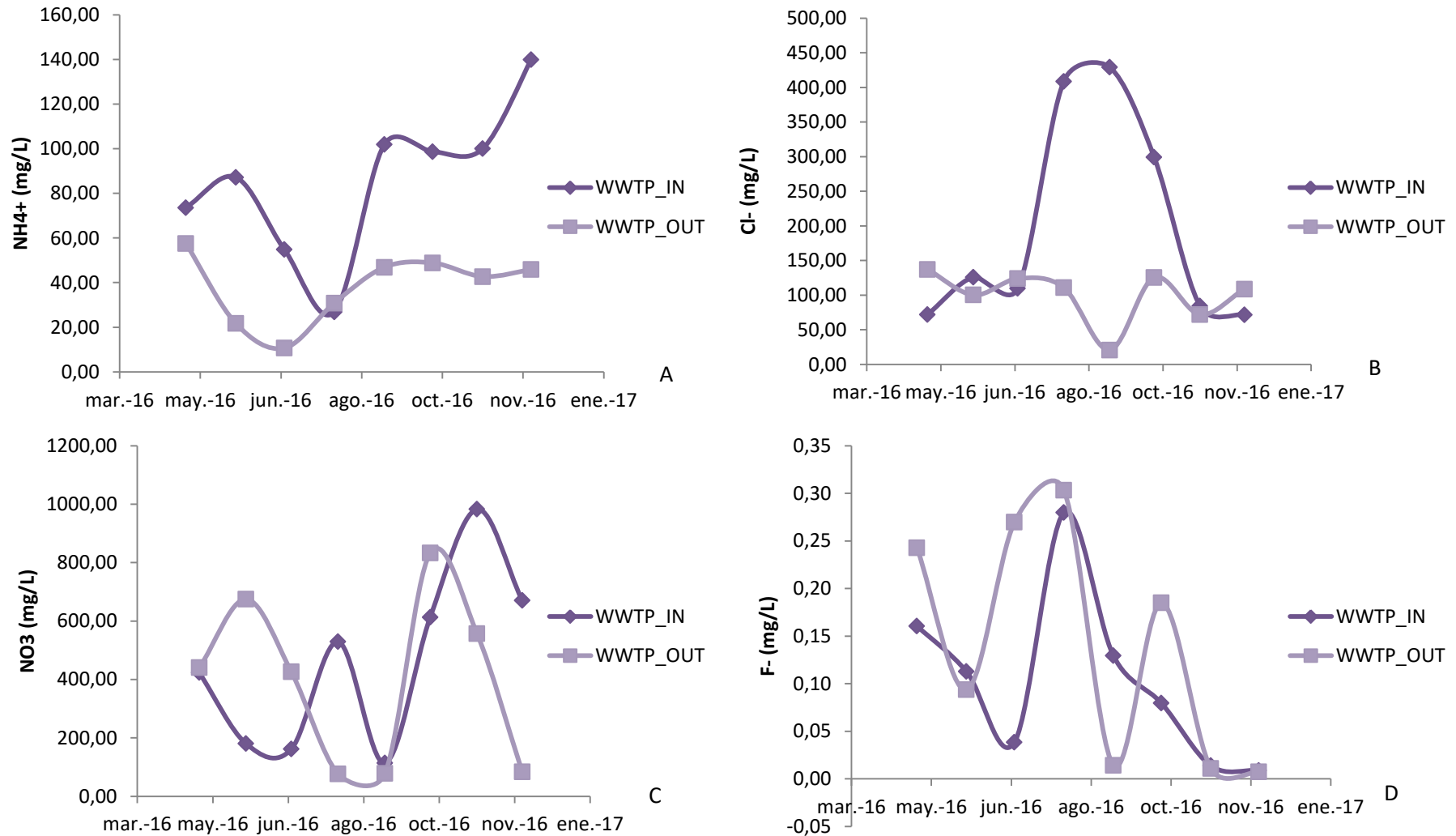


Figura 9. Variación de la concentración de amonio (A), cloruro (B), nitrato (C) y fluoruro (D) con respecto al tiempo de aguas residuales durante el período de Mayo a Diciembre, 2016. Leyenda: WWTP_IN= Planta de tratamiento de aguas residuales Afluente y WWTP_OUT= Planta tratamiento aguas residuales Efluente

En la Tabla 20 se presenta el valor promedio de la concentración de contaminantes microbiológicos de las muestras de la planta de tratamiento de aguas residuales tanto del afluente como del efluente durante el monitoreo en un período de mayo a diciembre de 2016. Con estos resultados se puede ver que la cantidad de contaminantes microbiológicos excede los límites permisibles de acuerdo a los establecido en la norma ecuatoriana, por otro lado a diferencia de los parámetros físico-químico que después del tratamiento tiene una reducción significativa en las concentraciones, la planta de tratamiento necesita mejorar su tratamiento en cuanto a patógenos ya que no existe una reducción de los contaminantes microbiológicos después del tratamiento.

Tabla 20. Resultados análisis microbiológicos de aguas residuales

Sitio	Coliformes Totales (NMP/ 100 mL)	<i>E. coli</i> (NMP/ 100 mL)
Planta Aguas Residuales Afluente (WWTP_IN)	>241960 (143950 - infinito)	>241960 (143950 - infinito)
Planta Aguas Residuales Efluente (WWTP_OUT)	>241960 (143950 - infinito)	>241960 (143950 - infinito)

Intervalo de confianza es de 95%, se encuentra entre paréntesis.

Agua de uso recreacional - Playas

Se realizó el monitoreo en dos playas en Puerto Baquerizo Moreno, La Lobería y Punta Carola, en los dos sitios se tomó una muestra en cada extremo y adicionalmente se tomó una muestra en el punto de descarga de aguas residuales ubicada a unos 100 metros aproximadamente en Punta Carola. Los parámetros analizados se presentan en la Tabla 4, los mismos que fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA, Libro IV, Anexo 1, tabla 9: criterios de calidad de agua destinada para fines recreativos y las Directrices para ambientes de aguas recreativas seguras de la OMS, se encuentran en la Tabla 21.

Tabla 21. Límites máximo permisibles para la calidad de aguas de uso recreacional

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Libro IV, Anexo 1, tabla 9: criterios de calidad de agua destinada para fines recreativos	OMS
Coliformes fecales	NMP por cada 100 mL		200	
Coliformes totales	NMP por cada 100 mL		1 000	
Entero cocos	NMP por cada 100 mL		-	200
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/L	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l	
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 – 8,5	
Temperatura	°C			

Tabla 22. Resumen análisis físico-químicos de agua para fines recreativos

Sitio	Sólidos Totales		Sólidos Totales Suspendidos		Turbidez (NTU)	Sulfato		pH		Cloro Residual (mg L ⁻¹)
	(mg L ⁻¹)		(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)		(Unidades de pH)		
La Lobería lado derecho (LRR)	44242,5	± 3,54	612,5	± 0,15	0,45	2227,8	± 468,1	8,1	± 0,5	<0,05
La Lobería lado izquierdo (LLL)	43315,0	± 2,96	505,0	± 0,12	1,32	2557,0	± 346,8	8,0	± 0,5	<0,05
Punta Carola lado derecho (LCR)	54590,0	± 13,78	427,5	± 0,19	0,89	2821,1	± 84,9	7,8	± 0,5	<0,05
Punta Carola lado izquierdo (LCL)	47410,0	± 5,85	432,5	± 0,14	0,46	2774,8	± 116,42	7,9	± 0,3	<0,05
Carola Discharge Point (LCD)	53217,5	± 8,69	455,0	± 0,12	2,62	2702,8	± 169,8	8,0	± 0,3	<0,05

Tabla 23. Continuación: Resumen análisis físico-químicos de agua para fines recreativos

Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		OD (mg L^{-1})	T °C	P (mmHg)	Sal (ppt)
45792,6	± 2365,2	6,28	21,3	759,2	30,76
46242,0	± 1718,6	6,62	21,4	759,3	31,44
47050,9	± 2352,9	7,55	22,1	759,0	32,8
46831,0	± 2065,5	7,38	21,9	758,9	32,0
46954,8	± 1444,9	6,88	21,7	759,0	32,1

En las Tablas 22-23 se encuentran los resultados de los análisis físico-químicos que se realizó en las muestras de agua de mar, los mismos que corresponden a un promedio del monitoreo mensual en un período de ocho meses (mayo-diciembre).

En la Figura 10 se encuentran las variaciones de los parámetros medidos *in situ*, de conductividad, pH, OD y temperatura que son muy similares entre las dos playas. Los valores no son muy variables con relación al tiempo, además se puede evidenciar la relación entre temperatura-oxígeno disuelto en cuanto a su variabilidad y la relación conductividad-salinidad.

En cuanto a los límites máximo permisibles expresados en la Tabla 21, criterios de calidad de agua destinada para fines recreativos, los parámetros analizados durante los ocho meses de monitoreo se encuentran dentro de lo establecido.

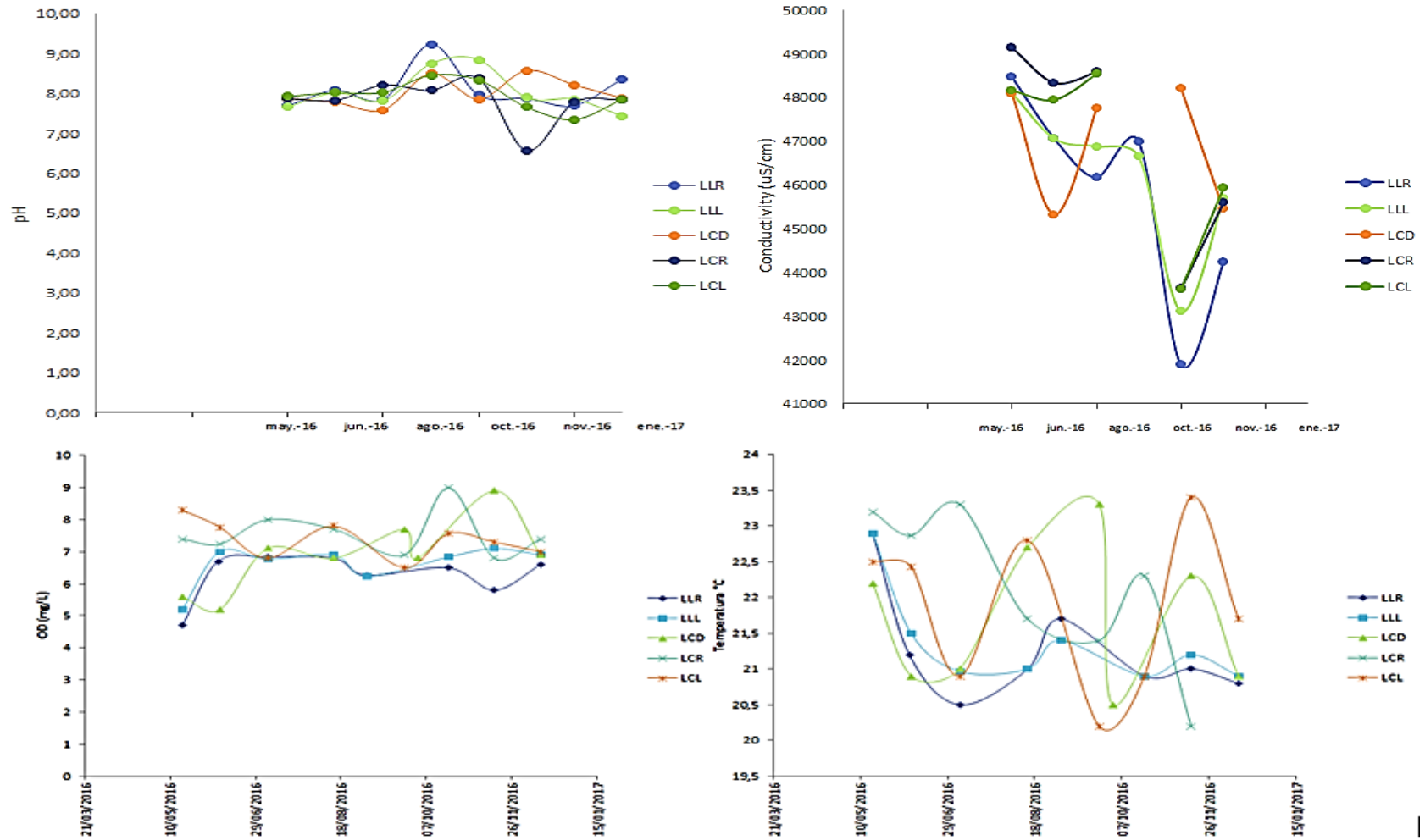


Figura 10. Variación de la conductividad (A), pH (B), OD (C) y temperatura (D) con respecto al tiempo en agua de mar durante el periodo Mayo-Diciembre, 2016. Leyenda: LLR = La Lobería lado derecho; LLL = La Lobería lado izquierdo; LCD= Carola Punto de Descarga; LCR= Carola lado derecho y LCL= Carola lado izquierdo

En la Tabla 24 se presenta el valor promedio de la concentración de contaminantes microbiológicos de las muestras de las playas, durante el monitoreo en un periodo de mayo a diciembre de 2016, de acuerdo a lo establecido por la OMS en las directrices para ambientes de aguas recreativas seguras. Considerando esto, las dos playas cumplen con los límites máximos permisibles siendo seguras para el uso recreacional de la comunidad local. A excepción del punto de descarga que se encuentra aproximadamente a unos 100 metros de playa Punta Carola, que tiene un valor promedio de 19415 NMP/100mL y lo permitido es 200 NMP/100mL, lo cual tiene relación con los resultados de contaminantes microbiológicos del efluente de aguas residuales ya que en ese punto se realiza su descarga.

Tabla 24. Resultados análisis microbiológicos de agua para fines recreativos

Sitio	Entero cocos (NMP/ 100 mL)
La Lobería lado derecho (LLR)	86 (12 - 105)
La Lobería lado izquierdo (LLL)	<10 (0,0 – 36,7)
Punta Carola lado derecho (LCR)	<10 (0,0 – 36,7)
Punta Carola lado izquierdo (LCL)	84 (11,6 – 108,7)
Carola Discharge Point (LCD)	19415 (11964 - 20149)

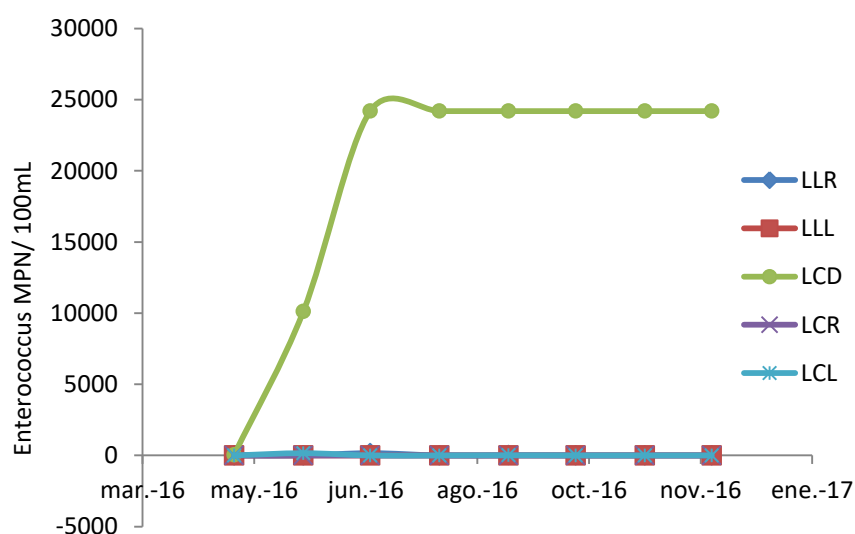


Figura 11. Variación de la concentración de *Enterococcus* con respecto al tiempo de muestreo en agua de mar entre Mayo y Diciembre, 2016. Leyenda LLR= La Lobería lado derecho; LLL= La Lobería lado izquierdo; LCD= Carola Discharge Point; LCR= Punta Carola lado derecho y LCL= Punta Carola lado izquierdo

CONCLUSIONES

El monitoreo de la calidad de agua es una herramienta que nos ayuda a llevar un control de la misma y en caso de su deterioro poder tomar las acciones necesarias, además se tiene la facilidad de comparación con las diferentes normas existentes tanto nacionales como internacionales. De acuerdo a lo analizado, el agua de las fuentes de abastecimiento no son aptas para el consumo humano sin previo tratamiento, especialmente a nivel microbiológico ya que se obtuvieron concentraciones altas en coliformes totales especialmente en Cerro Gato con un valor promedio de 12.235,8 NMP/100ml, por lo que es primordial su tratamiento en las plantas potabilizadoras de la Isla San Cristóbal para que el agua se encuentre apta para el consumo humano. Así mismo en la fuente La Toma de Los Americanos el nivel de OD está por debajo de lo permitido con un valor promedio de 3,79 mg L⁻¹ esto se da porque es un reservorio y el agua se encuentra estancada. Por otro lado, una vez que el agua ha sido tratada al momento de su distribución y almacenamiento en los hogares, está propensa a ser contaminada ya que se pudo evidenciar durante el monitoreo en los sitios Casa cisterna (BHC) y Casa lavabo (BHT) el inadecuado manejo de este recurso, obteniendo concentraciones de coliformes totales de 778 NMP/100 mL y 1112 NMP/100 mL respectivamente.

En lo que se refiere a las aguas residuales generadas por la población de Puerto Baquerizo Moreno, son tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en los análisis físico-químicos tanto en el afluente y efluente se pudo verificar una reducción significativa de los contaminantes después del tratamiento, a pesar de ser tratadas en algunos parámetros no cumplen con los límites máximos permisibles de descarga de efluentes a un cuerpo de agua marino. En cambio los contaminantes microbiológicos, tanto en afluente y efluente, no existe reducción en la

cantidad de coliformes totales y *Echerichia coli* con una concentración de >241960 NMP/100 mL por lo que la planta de tratamiento debería realizar un análisis en cuanto al control de patógenos y mejorar su operación.

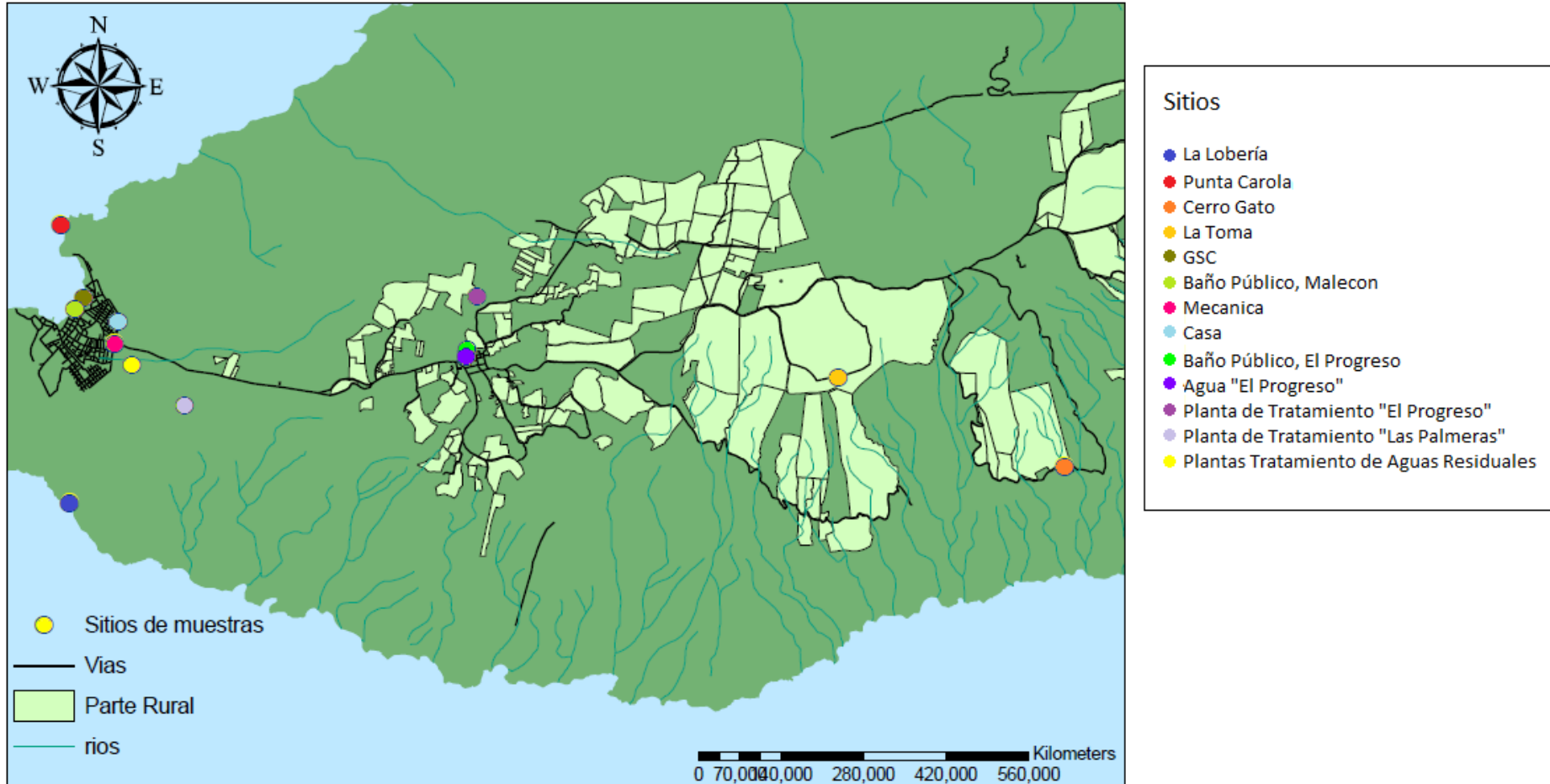
La calidad del agua para uso recreacional se encuentra dentro de los límites máximo permisibles en las dos playas monitoreadas, a excepción en el punto de descarga del efluente de aguas residuales que se encuentra cerca a la playa de Punta Carola que es donde se encuentra la mayor concentración de NMP/100MI de *Enterococcus*.

RECOMENDACIONES

Dada la importancia de realizar un continuo control de la calidad del agua, se recomienda continuar con el monitoreo que se ha realizado desde el inicio del proyecto en el año 2014, junto con la colaboración de instituciones como: el Parque Nacional Galápagos (PNG) y el Municipio de San Cristóbal, para tener una base de datos referente a la calidad del agua de la isla San Cristóbal. Es de suma importancia la competencia del Departamento de Gestión Ambiental del PNG en cuanto al control de descarga de efluentes, así mismo el control que se debe dar en las aguas de uso recreacionales debido a su importancia para el turismo, principal actividad en las islas. El monitoreo realizado fue durante un año sin lluvias por esta razón se refleja la variación en los resultados, las precipitaciones en la región insular presentó valores acumulados inferiores a las normales en el mismo periodo, en la isla San Cristóbal registró un acumulado anual de 238,7 mm, siendo inferior a su acumulado normal de 419,6 mm en un -43%. Así mismo, la región insular registró un total de 25 días de lluvia donde el mes de enero en San Cristóbal registró la precipitaciones máximas en 24 horas de 49,8 mm (INAMHI, 2016). Por lo que se sugiere continuar generando información para este proyecto que es de suma importancia para toda la población.

MAPA DE SITIOS DE MUESTREO EN LA ISLA SAN CRISTÓBAL

Sitios de Muestreo de San Cristobal



REFERENCIAS

- American Public Health Association. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: APHA.
- APHA. (n.d.). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC, 200005.
- California Environmental Protection Agency. (s.f.). *Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD)*. Obtenido de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- CEPES. (s.f.). *FUENTES DE ABASTECIMIENTO; AGUA POTABLE*. Obtenido de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf
- CGREG. (17 de septiembre de 2013). *Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos*. Obtenido de <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/nuevo-sistema-de-agua-potable-para-san-cristobal/>
- CGREG. (17 de septiembre de 2013). *Nuevo sistema de agua potable para San Cristóbal*. Obtenido de <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/nuevo-sistema-de-agua-potable-para-san-cristobal/>
- Chango Cañola, A. P., & Nacimba Loachan, N. E. (2015). *PROPUESTA D EUN PLAN DE MONITOREO DE ESTUARIOS Y EVALUACION DE CALIDAD DE AGUA. CASO DE ESTUDIO: ESTUARIO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ATACAMES*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- CONSEJO DE GOBIERNO DEL REGIMEN ESPECIAL DE GALAPAGOS. (2013). *Plan de Desarrollo de la Parroquia de El Progreso*. Obtenido de Consejo de Gobierno del Regimen Especial de Galapagos: <http://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/Plan-Desarrollo-Progreso.pdf>
- Dirección del Parque Nacional Galápagos. (2014). *Plan de Manejo de las Áreas Protegidas de Galápagos para el BUEN VIVIR*. Puerto Ayora, Galápagos , Ecuador.
- DPNG, CGREG, FCD y GC. (2013). *Informe Galápagos 2011-2012*. Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador.
- Espigares García, M., & Pérez López, J. (s/f). *COMPOSICION AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA (CIDTA); UNIVERSIDAD DE SALAMANCA: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- GAD Municipal San Cristóbal. (2014). *Agua Potable* . Obtenido de <http://www.sancristobalgalapagos.gob.ec/web/index.php/gad012/servicios-basicos/item/90-agua-potable>
- GAD Municipal San Cristóbal. (2015). *Puerto Baquerizo Moreno*. Obtenido de <http://www.sancristobalgalapagos.gob.ec/web/index.php/san-cristobal/2015-04-06-15-01-20/2015-06-10-17-14-53>

- GAD Municipal San Cristóbal. (s.f.). *Planta de Aguas Residuales*. Obtenido de <http://www.sancristobalgalapagos.gob.ec/web/index.php/gad012/servicios-basicos/item/91-planta-de-aguas-residuales>
- Generalitat de Catalunya. (s.f.). *PRESENCIA DEL SULFURO EN AGUAS*. Obtenido de <http://www.xtec.cat/~gjimene2/licencia/students/02aguas.html>
- Global Health and Education Fundation. (2007). *el Agua Potable es Ecencial; Procesos de tratamiento*. Obtenido de <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Treatment-Processes.html>
- Gobernacion de Galápagos. (7 de noviembre de 2011). *San Cristóbal inauguró planta de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.gobernaciongalapagos.gob.ec/san-cristobal-inauguro-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- IDEXX. (2015). *Colilert*. Obtenido de <http://www.idexx.es/resource-library/water/colilert-procedure-es.pdf>
- IDEXX. (2015). *Enterolert*. Obtenido de <http://www.idexx.es/resource-library/water/enterolert-procedure-es.pdf>
- INAMHI. (2016). *BOLETIN CLIMATOLOGICO SEMESTRAL 2016*. Quito-Ecuador.
- INEC. (2015). *Principales resultados Censo de Población y Vivienda Galápagos 2015*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_Galapagos_2015/Presentacion_CPVG15.pdf
- INEC. (10 de noviembre de 2016). *Galápagos tiene 25.244 habitantes según censo 2015*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/galapagos-tiene-25-244-habitantes-segun-censo-2015/>
- INEN. (06 de 2011). *Agua Potable. Requisitos*. Obtenido de <http://isa.ec/pdf/NORMA%20INEN%201108-%202011%20AGUA%20POTABLE.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1108, AGUA POTABLE. REQUISITOS*. Quito.
- INTERPRESAS: QUIMICA. (2010). *Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso nutrientes: Eliminación y determinación de fosfato*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/37743-Eliminacion-y-determinacion-de-fosfato.html>
- López Sardi, E. M., García, B., Reynoso, Y., González, P., & Larroudé, V. (s.f.). *Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso*. Obtenido de http://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf
- López, J., & Rueda, D. (2010). Water quality monitoring system in Santa Cruz, San Cristóbal, and Isabela. *Galapagos Report 2009 - 2010*, 103 - 107.
- Macherey-Nagel. (2013). *Instrucciones de los tests*.
- Macherey-Nagel. (s.f.). Medición. En *Manual* (pág. 44).

- MAE. (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI - Anexo I. Norma de Calidad Ambiental de descarga de efluentes: Recurso Agua*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Nivelo, S. I. (2015). *Monitoreo de la calidad del agua en San Cristóbal, Galápagos*. Quito.
- Ochoa Herrera, V., Banihani, Q., León, G., Khatri, C., Field, J. A., & Sierra Alvarez, R. (2009). Toxicity of fluoride to microorganisms in biological wastewater treatment systems. *Elsevier*(43), 3177-3186.
- Ochoa, V. (2013). Clase de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales USFQ.
- Ochoa, V., Valdés, A., & Naranjo, H. (s.f.). *Manual de Procedimientos LIA*. Quito: Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad San Francisco de Quito.
- Ochoa-Herrera, V., Eskew, O., Overbey, K., Palermo, F., & Peñafiel, R. (2014). A baseline analysis of the quality of water resources on San Cristóbal Island, Galápagos. *Proceedings of the International Perspective on Water Resources & Environment Conference - IPWE 2014*.
- Organización Mundial de la Salud . (2008). *Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1: . Suiza*.
- OxiTop. (2008). OxiTop Manometric BOD Measuring Devices Instruction Manual. Straubing, Pichincha, Ecuador: Senton GmbH.
- Presidencia de la República. (2013). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. Obtenido de Libro VI, Anexo 1, TULSMA: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Quesada, J. (2009). *Plan de Gestión Integral para el Recurso Hidrico en las Islas Galápagos*.
- Rueda, D., López, J., & Nagahama, Y. (2008). *Monitoreo de Calidad del Agua en la Isla San Cristóbal*. Galápagos; San Cristóbal: PNG, JICA.
- Sotomayor, J. P. (2014). *Análisis de la concentración de microorganismos en el agua para consumo humano, en San Cristóbal, Provincia de Galápagos-Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4689/1/112556.pdf>
- Thermo Fisher Scientific . (2007). *User Guide Fluoride Ion Selective Electrode*.
- Thermo Fisher Scientific . (2008). *User Guide Nitrate Ion Selective Electrode*.
- Thermo Fisher Scientific. (2010). Operating Manual and Parts List 057-287-00 Rev.1. *MaxQ 4000 Incubated and Refrigerated Shakers*. Marietta, Ohio, United States: Thermo Scientific.
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2009). *Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ4500 Turbidimeter User Guide*. Obtenido de <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D17144~.pdf>
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2007). Spectronic 20+ and Spectronic 20D+ User Guide . Madison: Thermo Scientific.
- Thermo Scientific. (2007). *Thermo Scientific Orion Star Series pH Meter Quick Start Guide*. Beverly: Thermo Fisher Scientific.

- Thermofisher. (2017). *Orion™ AQ4500 Turbidimeter*. Obtenido de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/AQ4500>
- World Health Organization . (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality, 4th ed.* Geneva: WHO Graphics.
- World Health Organization. (2003). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and fresh waters.* Malta: Minimum Graphics.
- World Health Organization. (16 de Octubre de 2003). *Healthy recreational waters*. Obtenido de <http://www.who.int/features/2003/10/en/>
- WWF. (16 de marzo de 2016). *El tratamiento biológico de aguas residuales, fundamento de una comunidad saludable*. Obtenido de <http://www.wwfca.org/?264791/El-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-fundamento-de-una-comunidad-saludable>