



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

AREA BIOLÓGICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Impacto del uso recreacional en la calidad del agua del balneario “Piscinas Naturales” que pertenecen a la Microcuenca Papalango del cantón Pindal, provincia de Loja

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORAS: Sánchez Ortega, Julissa Beatriz

Villareal Sánchez, Marielena

DIRECTOR: Iñiguez Armijos, Carlos Alberto, Ing.

LOJA-ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniero

Carlos Alberto Iñiguez Armijos.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Impacto del uso recreacional en la calidad del agua del balneario “Piscinas Naturales” que pertenecen a la Microcuenca Papalango del cantón Pindal, provincia de Loja, realizado por Villareal Sánchez Marielena y Sánchez Ortega Julissa Beatriz, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2016

Ing. Carlos Alberto Iñiguez Armijos

Director del trabajo de fin de titulación

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“ Nosotras, Villareal Sánchez Marielena y Sánchez Ortega Julissa Beatriz, declaramos ser autoras del presente trabajo de titulación: Impacto del uso recreacional en la calidad del agua del balneario “Piscinas Naturales” que pertenecen a la Microcuenca Papalango del cantón Pindal, provincia de Loja, de la Titulación de Gestión Ambiental, siendo Carlos Alberto Iñiguez Armijos director del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

Autora: Sánchez Ortega Julissa Beatriz

Cédula: 1309458352

Autora: Villareal Sánchez Marielena

Cédula: 1105013559

DEDICATORIA

De todo corazón y con mucha gratitud dedicamos este trabajo:

A Dios, por permitirnos llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres quiénes nos han guiado y apoyado con sabiduría, esfuerzo y dedicación durante todo el transcurso de la carrera; dándonos sus consejos para llegar a ser personas de bien y cumplir nuestros objetivos propuestos.

Marielena y Julissa

AGRADECIMIENTO

Nos complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Titulación de Ingeniería en Gestión Ambiental y en ella a los distinguidos docentes quienes con sus profesionalismo y ética puesto de manifiesto en las aulas enrumban a cada uno de los que acudimos con sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

A nuestro director Ing. Carlos Iñiguez Armijos quien con su experiencia ha sido la guía idónea durante el proceso que ha llevado el realizar esta tesis, nos ha brindado el tiempo necesario, como la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminada.

Agradecemos también al presidente de la Mancomunidad Bosque Seco el Ing. Vicente Solórzano y al Ing. Esvar Días, Técnico encargado del laboratorio de la Mancomunidad.

Julissa y Marielena

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	PÁGINAS
CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I.....	6
1. 1. Marco teórico	7
1.1.1. El agua en el Ecuador.....	7
1.1.2. Uso recreacional del agua.	8
1.1.3. Calidad del agua.	9
1.1.4. Contaminantes del agua.	10
1.1.5. Efectos de la contaminación del agua en la población humana.....	11
1.1.6. Indicadores de contaminación fecal.....	12
CAPÍTULO II.....	15
2.1. Materiales y métodos.....	16
2.1.1.Área de estudio.	16
2.1.2. Selección de sitios de muestreo.	19
2.1.3 Recolección de muestras.....	22
2.1.4. Fase de laboratorio.	23
2.1.5. Análisis estadístico.....	31

2.1.6. Estrategias de manejo y conservación para el uso recreacional del balneario “Piscinas Naturales de Pindal”.....	31
CAPÍTULO III.....	32
3.1. Resultados	33
3.1.1. Variación espacio-temporal de la calidad físico-química y microbiológica.....	33
3.1.2. Relación entre la calidad microbiológica del agua y el uso recreacional del balneario.	57
CAPITULO VI	63
4.1. Discusión	64
CONCLUSIONES.....	65
Estrategias de manejo para la Microcuenca Papalango	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de calidad para aguas destinadas con fines recreativos	9
Tabla 2. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para pH por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.	34
Tabla 3. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para conductividad por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	36
Tabla 4. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para temperatura por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	38
Tabla 5. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para turbidez por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	40
Tabla 6. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para sólidos totales disueltos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	42
Tabla 7. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para oxígeno disuelto por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	44
Tabla 8. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para porcentaje de saturación de oxígeno por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	46

Tabla 9. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para fosfatos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	48
Tabla 10. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para nitratos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	50
Tabla 11. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para coliformes totales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	52
Tabla 12. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para coliformes fecales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	54
Tabla 13. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para E.coli por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.....	56
Tabla 14. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de coliformes totales en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.	57
Tabla 15. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de coliformes fecales en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.	58
Tabla 16. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de E. coli en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.	59
Tabla 17. Resumen de los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en los sitios de muestreo	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa Político de la provincia de Loja y ubicación del cantón Pindal	16
Figura 2. Balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	17
Figura 3. Ubicación geográfica del balneario “Piscinas Naturales de Pindal” y uso del suelo de la Microcuenca Papalango.....	18
Figura 4. Esquema de la secuencia de la ubicación de los sitios o pozas estudiadas y su intensidad de uso recreacional	21
Figura 5. Caja Petri de coliformes totales y E. coli	25
Figura 6. Caja Petri de coliformes fecales	27
Figura 7. Proceso de medición de turbidez	28
Figura 8. Muestras con reactivo Phos Ver 3 Phospahte Reagent	29
Figura 9. Medición de nitratos	30
Figura 10. Valores de potencial hidrógeno (pH) por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	33
Figura 11. Valores de conductividad por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	35
Figura 12. Valores de temperatura por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal	37
Figura 13. Valores de turbidez por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.	39
Figura 14. Valores de sólidos totales disueltos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	41
Figura 15. Valores de oxígeno disuelto por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	43
Figura 16. Valores de porcentaje de saturación de oxígeno por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.	45
Figura 17. Valores de fosfatos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.	47
Figura 18. Valores de nitratos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.	49
Figura 19. Valores de coliformes totales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	51
Figura 20. Valores de coliformes fecales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	53
Figura 21. Valores de Escherichia coli por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.....	55

Figura 22.Concentración de unidades formadoras de colonias de E.coli en relación al número de bañistas observados en las pozas seleccionadas en el balneario Piscinas Naturales de Pindal. Los círculos abiertos corresponden a los valores observados en el muestreo.....60

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo conocer el impacto del uso recreacional en la calidad del agua del balneario “Piscinas Naturales” que pertenece a la microcuenca Papalango del cantón Pindal, provincia de Loja.

Se realizaron 8 muestreos en pozas con diferente intensidad en su uso recreacional durante la temporada alta y baja de uso del balneario, distribuidos durante la estación seca y lluviosa. *In situ* y en el laboratorio de calidad de agua de la “Mancomunidad del Bosque Seco” se analizaron parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Se analizó la variación espacial y temporal de dichos parámetros a través de un modelo lineal mixto elaborado en el ambiente de programación R. Los resultados de los análisis del agua fueron comparados con la Norma ecuatoriana.

Se determinó que el pH, coliformes totales, fecales y *E. coli*, sobrepasan los límites máximos permisibles que presenta la normativa para aguas destinadas para fines recreativos. Igualmente, se pudo evidenciar una relación del aumento en la concentración de *E. coli* con el aumento del número de bañistas.

Palabras claves: aguas recreacionales; contaminación fecal; *Escherichia coli*

ABSTRACT

This study aims to determine the impact of recreational use on water quality of the bathing site "Piscinas Naturales" located in the city of Pindal, Loja province.

We conducted eight samplings campaigns in four natural pools with different intensity of recreational use during the high and low seasons, distributed along the dry and rainy season. We determined *in situ* and at the laboratory, several physical, chemical and bacteriological parameters (water quality). The spatial and temporal variation of these parameters were analyzed through a mixed linear model performed in R environment. The results of the water analysis were compared with the Ecuadorian Standard.

We determined that parameters pH, concentrations of total coliforms, fecal and *E. coli* exceed the permissible limit established in the water quality criteria for recreational use. Also, the analyses showed an increasing in the concentration of *E. coli* with the increasing in the number of bathers.

Keywords: recreational waters; fecal pollution; *Escherichia coli*

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la calidad del agua para uso recreacional, pese a su importancia para la salud y el desarrollo socio-económico local, no tenía un marco administrativo y legal para garantizar la salud pública y el uso sostenible de este recurso. Sin embargo, desde 1950 numerosos estudios han evaluado la asociación entre la calidad del agua de uso recreacional y los resultados en la salud, demostrando un aumento en el riesgo de enfermedades asociado con la exposición a aguas de uso recreacional (Wade et al., 2003). Algunos investigadores (Marín, et al., 2004; Doménech-Sánchez et al., 2008) afirman que el uso recreativo del agua implica el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales, dermatológicas y problemas respiratorios.

Este tipo de estudios influyeron para que comunidades gubernamentales, como la Unión Europea desarrollasen directrices para asegurar la calidad del agua de uso recreacional y la salud de sus usuarios (CEC, 1976; EC, 2006). Otro ejemplo es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) que también han desarrollado similares normativas en las últimas décadas (Dufour, 1984; EPA, 1986; EPA, 2012). Esto pone en evidencia un exponencial interés por la salud pública y la calidad del agua de uso recreacional en países más desarrollados, lo que no ocurre en países latinoamericanos como Paraguay, Bolivia, Venezuela, Brasil, entre otros, el uso recreacional no aparece como un uso reconocido en sus respectivas legislaciones, según Valls (1980).

En el Ecuador, el ente encargado de la prevención, control y seguimiento de la contaminación ambiental del recurso agua, es el Ministerio del Ambiente (MAE) en coordinación con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), quienes se encargan de formular las políticas sobre calidad del agua y control de la contaminación de las aguas. En nuestro país, existe una normativa para calidad de agua de uso recreacional (TULSMA, 2008). Sin embargo, no hay un ente que lleve a cabo el control de la calidad de agua para la recreación y que compruebe el cumplimiento de dicha normativa. Esto se debe, a que las autoridades competentes: MAE y SENAGUA se enfocan principalmente en la calidad de agua para consumo humano y de riego, restando importancia a la calidad de agua para uso recreacional. Otro problema para la gestión adecuada del recurso agua a nivel recreacional, es la falta de información (registro del número de balnearios naturales existentes en el Ecuador), y la debida categorización de estos, de acuerdo a la calidad del agua para el uso de bañistas. Lo que impide a los turistas conocer los balnearios naturales aptos para la recreación.

La calidad del agua para uso recreacional se ve disminuida principalmente por un incremento en las concentraciones de microorganismos patógenos, especialmente coliformes fecales. La contaminación por coliformes fecales en los cuerpos de agua recreacionales afecta al turismo y a la economía local, porque genera problemas de salud pública (Garret, 1994).

Los coliformes fecales son indicadores del grado de contaminación que pueden afectar la salud de las personas, los altos niveles en el agua pueden contener una amplia gama de parásitos, virus y bacterias responsables de infecciones intestinales y respiratorias, así como también pueden resultar afectados piel, oídos y ojos. La principal vía de transmisión es la ingestión de agua contaminada, pero los microorganismos causantes de enfermedades, también pueden ingresar al cuerpo a través de oídos, nariz, ojos o la piel dañada por un corte o una erupción cutánea (World Health Organization, 2006). Por esta razón las aguas recreacionales deben ser permanentemente supervisadas para proteger la salud de sus usuarios. Este tipo de monitoreos garantiza la salud de los usuarios, fomenta el turismo ecológico y contribuye al manejo sostenible y a la planificación territorial, especialmente en lugares con balnearios altamente concurridos.

Sin embargo, el control de la calidad del agua de uso recreacional merece especial atención en el desarrollo de estándares microbiológicos adecuados que provean información efectiva de los riesgos para la salud de los bañistas (Phillip et al., 2009).

El balneario “Piscinas Naturales” de Pindal, está ubicado en la microcuenca del río Papalango, cantón Pindal, provincia de Loja. Se trata de uno de los 10 atractivos turísticos más visitados de esta provincia, donde todos los años acuden aproximadamente 14.000 turistas que llegan atraídos por su belleza natural (GAD MUNICIPAL DE PINDAL, 2013). El presente estudio tiene como objetivo conocer el impacto del uso recreacional en la calidad del agua del balneario “Piscinas Naturales” que pertenece a la microcuenca Papalango del cantón Pindal, provincia de Loja. Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos: a) Analizar la variación espacial y temporal de la calidad físico-química y microbiológica del agua del balneario “Piscinas Naturales” b) Evaluar la influencia de los bañistas en la calidad microbiológica del agua del balneario basada en la concentración de *Escherichia coli*, coliformes totales y fecales) Establecer estrategias de manejo y conservación para el uso recreacional del agua del balneario “Piscinas Naturales” aplicados a la microcuenca Papalango.

Esta información permitirá conocer el estado de la calidad del agua de este balneario, así como determinar el nivel de influencia que tienen las actividades recreacionales en su

calidad microbiológica del agua. A lo largo del río Papalango, se seleccionaron 4 piscinas naturales con diferentes intensidades de uso recreacional, y se realizaron muestreos durante días feriados y entresemana (temporada alta y baja), y en la estación seca y lluviosa. Seguidamente se analizó la variación espacio-temporal de la calidad microbiológica y físico-químico de las piscinas naturales y se compararon los resultados con los criterios de calidad para aguas con fines recreativos según la Normativa de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. LIBRO VI. (TULSMA, 2008). Además se evaluó la influencia de los bañistas, en la calidad microbiológica del agua basada en la concentración de *Escherichia coli*. Finalmente, se proponen estrategias de manejo y conservación para el uso recreacional del agua del balneario “Piscinas Naturales de Pindal”.

CAPITULO I

1. 1. Marco teórico

1.1 .1. El agua en el Ecuador.

Nuestro país es rico en recursos hídricos, siendo los ríos la principal fuente de agua dulce superficial. El Consejo Nacional de Recursos Hídricos (2002) señala que existe a nivel nacional una esorrentía media total de 432.000 hm³ por año, con una esorrentía específica de 1600 mm / año muy superior a la media mundial que es del orden de 300 mm/año, lo que supone 43.500 m³ por habitante al año, de igual forma superior a la media mundial de 10.800 m³.

En el Ecuador, el agua es destinada para usos consuntivos y no consuntivos. Dentro de los usos consuntivos se encuentran: el riego (81,1%), el uso doméstico (12,3%), el industrial (6,3%) y otros usos (0,3%); dichos usos suman la cantidad de 22.500 hm³/año (CNRH, 2006). Según CONELEC (2006), el principal uso no consuntivo que ocupa el mayor volumen de agua en el Ecuador es para la generación hidroeléctrica, convirtiéndola en la mayor fuente de energía del país. Otros usos no consuntivos del agua en el Ecuador son para recreación y conservación, pero no existe más información sobre la cuantificación de estos usos.

Aunque el agua dulce superficial es abundante, la calidad del agua de nuestro país, está en constante deterioro, afectando a las áreas más pobladas. La mayoría de los ríos del país presentan una preocupante calidad bacteriológica debido a la falta de control en el vertido de las aguas residuales de las ciudades (Cabrera et al., 2012). Además, muchos ríos están contaminados por agroquímicos, residuos industriales, por productos mineros y por procesamiento de hidrocarburos (MAGAP, 2011).

Adicionalmente existen problemáticas como; la mala distribución y la acelerada destrucción de sus fuentes. Es por ello que el país requiere una adecuada conservación y manejo sustentable de este recurso con el objetivo de proveer agua de manera equitativa a su población (Galárraga -Sánchez, 2010).

El Plan Nacional del Agua (2008) señala que existen vacíos de información en el manejo y monitoreo del recurso hídrico debido al insuficiente sistema de recolección de datos y a la escasez de investigaciones acerca de la calidad y cantidad del agua de los ríos que tiene el Ecuador.

1.1.2. Uso recreacional del agua.

Las aguas destinadas a uso recreacional pertenecen a cuerpos superficiales que se utilizan principalmente para baño y actividades deportivas (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2002). El uso recreacional del agua es una actividad no consuntiva, un uso no consuntivo es aquel en el que no existe pérdida de agua, ya que la cantidad que entra es la misma o aproximadamente la misma que termina con el proceso (Castelán, 2003).

Según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA, 2008), la utilización del agua para fines recreativos presenta un contacto primario, como en la natación y el buceo (se incluye los baños medicinales) y un contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca. Sin embargo, en otros países se han clasificado a esas actividades como de contacto, y han agregado actividades sin contacto como fotografías, caminatas, contemplación, entre otras (Gobierno de Chile-Dirección General de Agua, 2000).

A nivel mundial existe una creciente demanda de los balnearios y se ha reconocido su importancia social y económica. Por lo tanto, el gran uso de estos espacios naturales ha obligado a varios gobiernos a tomar medidas de control y vigilancia de la calidad del agua de los balnearios para garantizar la salud pública de los usuarios y los turistas. Este tipo de regulaciones es más evidente en la legislación de países de Norteamérica y la Unión Europea, sin embargo se han intentado adaptar en algunos países tropicales sin un análisis efectivo de su idoneidad como herramientas de evaluación de la calidad del agua para fines recreativos (Phillip, et al., 2009).

1.1.3. Calidad del agua.

La calidad del agua se define como el conjunto de características físico-químicas y microbiológicas del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico (Mendoza, 1996).

Las actividades humanas tienen una gran influencia en la contaminación del agua, pues ellas generan residuos que se depositan en el agua sin un tratamiento previo, añadiendo toda clase de sustancias ausentes de forma natural (Arco, 2005). No obstante, la mayoría de países poseen normativas ambientales que regulan estas actividades humanas y controlan las concentraciones de las sustancias contaminantes basados en límites permisibles que garantizan la posterior utilización del agua.

Tabla 1. Criterios de calidad para aguas destinadas con fines recreativos

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/ L	0,002
Oxígeno disuelto	O.D	mg/L	No menor al 80 % de concentración de saturación y no menor a 6 mg/L
Materia flotante	Visible		Ausencia
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 8,5
Metales y otras sustancias tóxicas		mg/L	Cero

Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg/L	0,1 (para cada compuesto detectado)
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/L	0,2 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	Visibles		Ausencia
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/ L	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles al hexano	mg/L	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m
Relación hidrógeno fósforo orgánico			15:01

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.LIBRO VI. (TULSMA, 2008). ANEXO 1. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.

1.1.4. Contaminantes del agua.

Los principales contaminantes que afectan la calidad del agua son: físicos, químicos, orgánicos y biológicos.

Entre los contaminantes físicos que son arrojados al agua como resultado de las actividades antropogénicas se encuentran los líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos, los cuales afectan el aspecto del agua e interfieren con la flora y fauna acuática (Thomas & William, 2004).

Los contaminantes químicos comprenden compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Al hablar de contaminantes inorgánicos nos referimos a productos que provienen de descargas agrícolas, domésticas e industriales o de la erosión del suelo. Los carbonatos, nitratos, sulfatos y cloruros son los principales contaminantes químicos incluyendo además los desechos alcalinos, ácidos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de nitrógeno, de azufre, amoníaco, cloro y ácido sulfhídrico. La mayoría de estos contaminantes son expulsados a la atmósfera y arrastrados por la lluvia (Degremont, 1979).

Al igual que los contaminantes químicos, los orgánicos se disuelven y dispersan en el agua, dichos contaminantes proceden de desechos industriales, agrícolas, domésticos y de la erosión del suelo. Los contaminantes orgánicos pueden ser desechos humanos y animales, resultantes de industrias alimenticias, mataderos, productos químicos industriales de origen natural. Los cuales consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (Degremont, 1979).

Thomas & William (2004) indican que los contaminantes biológicos comprenden a las algas, plantas acuáticas, bacterias, hongos y virus que son causantes de enfermedades. Ciertas bacterias pueden ser inofensivas, y otras pueden contribuir a la degradación de la materia orgánica existente en el agua.

1.1.5. Efectos de la contaminación del agua en la población humana.

La metahemoglobinemia, y la formación de nitrosaminas (factor de riesgo exógeno en el cáncer de estómago) en los lactantes, son ocasionadas por las altas concentraciones de nitratos. Implica la aparición de síntomas clínicos como la coloración azulada de la piel y sangre de color parduzco (Blancas & Hervás, 2001).

Los fosfatos son sustancias que están presentes en el ADN y de importancia para la distribución de energía. El exceso de fosfato puede causar el deterioro de la salud, como es el caso de afección a riñones y osteoporosis, sin embargo la disminución de fosfato en la sangre ocasiona hipofosfatemia que desata problemas respiratorios, como consecuencia del uso exagerado de medicinas (U.S. National Library of Medicine, 2013).

La contaminación fecal es el principal riesgo sanitario en el agua, debido a que contiene microorganismos patógenos que producen enfermedades y por esta razón se debe realizar el control de la calidad microbiológica del agua para proteger la salud de la población (Marín, et al., 2004).

El uso recreativo del agua conlleva el riesgo de contraer enfermedades en personas que realizan como dermatitis, gastroenteritis y problemas respiratorios. Los brotes de diarrea son provocados por *Cryptosporidium*, norovirus y cepas de *Escherichia coli* enteropatógenas, mientras que los principales agentes de infecciones cutáneas son *Pseudomonas* y *S. aureus*. Por otro lado *Legionella* es responsable de infecciones respiratorias (Doménech-Sánchez et al., 2008).

1.1.6. Indicadores de contaminación fecal.

La contabilización de bacterias indicadoras de bacterias fecales es eficaz para realizar el control de la calidad sanitaria del agua. Las mismas que se han utilizado para la determinación de la calidad de los sedimentos, alimentos y aguas destinadas para el consumo humano, la industria, recreación y la agricultura. No hay un indicador universal, razón por la cual se debe escoger el indicador más apropiado al caso de estudio (Bachoon et al., 2010).

Los indicadores de contaminación fecal más utilizados son bacterias como los coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y enterococos (Rossen, et al., 2008), aunque existen indicadores alternativos (ver Mushi et al., 2010).

Estos microorganismos indicadores tienen un comportamiento similar a los patógenos en cuanto a concentración en aguas, pero su identificación es más fácil, rápida y económica (Méndez et al., 2010). Sin embargo González, Paranhos & Lutterbach (2010) argumentan que la aplicación de estas bacterias como indicadores conlleva limitaciones como: la capacidad para proliferarse después de su liberación en una columna de agua, la debilidad frente a los procesos de desinfección, la escasa supervivencia en cuerpos de agua y fuentes no fecales, entre otras.

Del Pilar et al. (2005) mencionan que para que un organismo sea un buen indicador de contaminación fecal debe provenir de los intestinos de los animales y no darse de forma natural en el ambiente, su supervivencia y transporte en el agua debe ser similar al de

bacterias patógenas, presentarse en número elevado para facilitar su aislamiento e identificación y ser incapaz de reproducirse fuera del tracto intestinal del hospedante.

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero son mejores indicadores de higiene en alimentos y agua, indica la existencia de contaminación fecal de origen humano o animal, siendo *E. coli* la bacteria más abundante, representando entre el 90 a 100 % del total de coliformes fecales (Carrillo & Lozano, 2008), característica que lo ha convertido en el indicador con mejores resultados en ambientes acuáticos de zonas templadas (Wade et al., 2003).

Iguchi, et al., (2009) señalan que la *E. coli* es miembro de la familia *Enterobacteriaceae*, especie de bacteria más común de la microbiota intestinal, debido a que se encuentra presente como un comensal del intestino de los seres humanos a penas escasas horas después de su nacimiento. Es difícil encontrar cepas comensales vinculados a enfermedades, no obstante existen varios patotipos de *E. coli* involucrados en un vasto espectro de enfermedades agrupados en síndromes clínicos.

Los coliformes fecales tienen efectos graves en la salud de las personas, los altos niveles de esta bacteria en el agua pueden contener una amplia gama de parásitos, virus y bacterias responsables de infecciones intestinales y respiratorias, así como también pueden resultar afectados piel, oídos y ojos. La principal vía de transmisión es la ingestión de agua contaminada, pero los microorganismos causantes de enfermedades, también pueden ingresar al cuerpo a través de oídos, nariz, ojos o la piel dañada por un corte o una erupción cutánea (World Health Organization, 2006).

La *E. coli* se encuentra dividida por sus propiedades virulentas que son responsables de enfermedades como diarrea tanto en los seres humanos como en los animales. Otras cepas ocasionan diarreas hemorrágicas en virtud a su agresividad, toxicidad y patogenicidad, puesto que ya existen registros mundiales de muerte a causa de esta bacteria en especial dada en niños entre 1 y 8 años. De igual forma pueden ocasionar infecciones intestinales y extra intestinales generalmente graves, tales como cistitis, peritonitis, meningitis, infecciones del aparato excretor, mastitis, septicemia y neumonía Gram-negativa. (World Health Organization, 2006).

En los animales, la colibacilosis es el nombre de un grupo de enfermedades producidas por *E. coli* especialmente dada en animales recién nacidos y edad mayor. Según Smith & Jones (1963) afirman que en los lechones, la manifestación más común es la diarrea sin enteritis ni bacteremia. No obstante, existen registros de que en porcinos de 2 a

3 días de edad la enfermedad es septicémica y se caracteriza por muerte súbita (Blood & Henderson, 1969). Loosmer (1962) indica que los colibacilos son la causa más importante de muerte en corderos.

En las aves la infección ocasionada por *E. coli* presenta variadas manifestaciones tales como, infección de los sacos aéreos, enteritis, salpingitis, artritis, peritonitis, infección del saco vitelino (onfalitis), colisepticemia, coligranuloma (enfermedad de Hjarre) y panoftalmitis. Debido a todas estas numerosas enfermedades a causa de *E. coli* se producen grandes pérdidas económicas para la industria avícola (Gross, 1972).

CAPÍTULO II

2.1. Materiales y métodos.

2.1.1. Área de estudio.

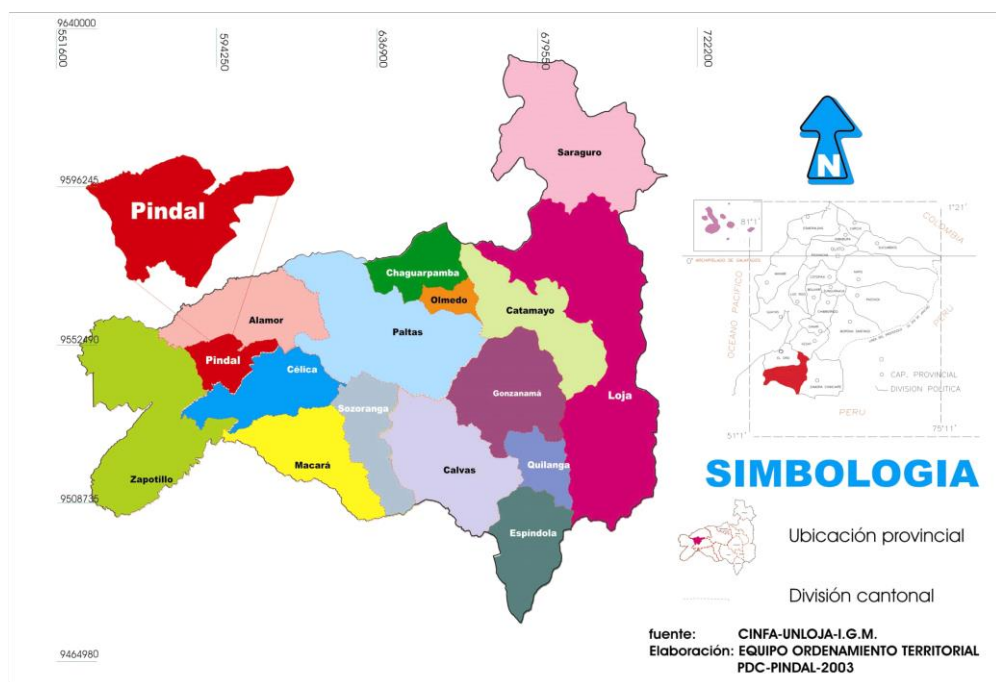


Figura 1. Mapa Político de la provincia de Loja y ubicación del cantón Pindal

Fuente: GAD MUNICIPAL DEL CANTON PINDAL, 2013

El balneario “Piscinas Naturales de Pindal” se encuentra en el cantón Pindal en la provincia de Loja (Figura 1), y está ubicado a 217 Km² de la ciudad de Loja. Pindal posee un clima sub tropical seco, con una temperatura media de 23 °C. La precipitación promedio anual varía entre 500 a 1000 mm, siendo las mayores precipitaciones de enero a abril. El complejo turístico del balneario “Piscinas Naturales de Pindal” (Figura 2), tiene 10.000 m² de superficie, se trata de un complejo turístico natural ubicado en la quebrada Papalango, muy cerca de la ciudad de Pindal.

El balneario está constituido por varias pozas o piscinas que se formaron en la roca a causa de la erosión hídrica, las piscinas están rodeadas de rocas y árboles que las convierten en un atractivo ecoturístico del cantón Pindal.



Figura 2. Balneario Piscinas Naturales de Pindal.

Fuente: Autoras

La microcuenca de la quebrada Papalango (Figura 3) tiene una extensión de 2067,51 ha. De esta microcuenca se abastecen de agua cuatro poblaciones: la ciudad de Pindal (cabecera cantonal), y los barrios Naranjito, San Francisco, Canguracas y Cristo del Consuelo, a través de 10 sitios de captación ubicados a lo largo de la quebrada Papalango (Naturaleza y Cultura Internacional, 2011).

Los suelos son muy susceptibles a procesos erosivos, aproximadamente se pierden 175 toneladas/ha/año, debido a la poca vegetación nativa existente. Aproximadamente el 80% de la superficie de la microcuenca se encuentra deforestada producto de la tala indiscriminada de los bosques (Figura 4), debido a la presión que ha ejercido la agricultura y ganadería, especialmente para cultivar maíz (GAD MUNICIPAL DE PINDAL, 2013).

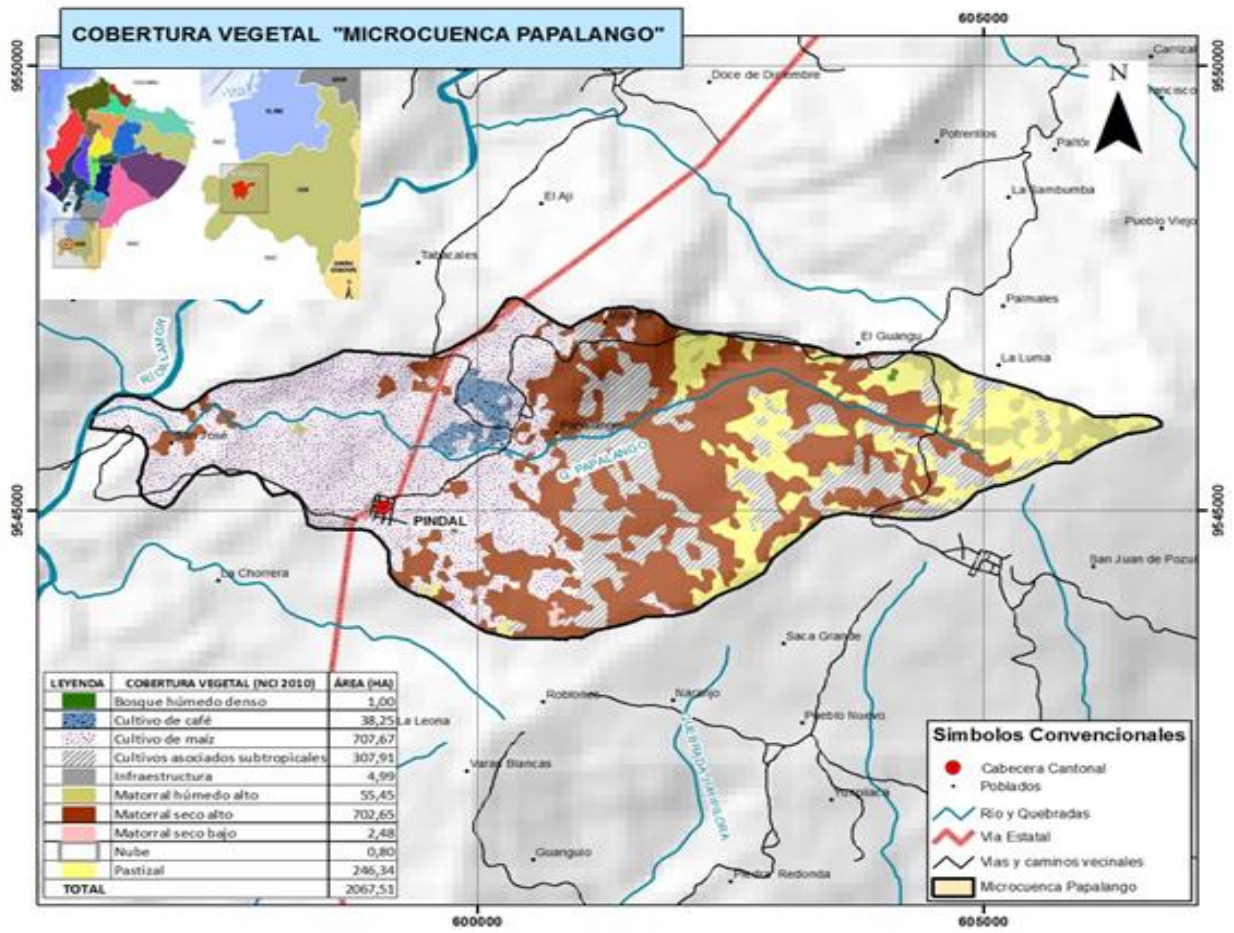


Figura 3. Ubicación geográfica del balneario "Piscinas Naturales de Pindal" y uso del suelo de la Microcuenca Papalango.

Fuente: Autoras

2.1.2. Selección de sitios de muestreo.

Para responder a nuestros objetivos se seleccionaron 4 pozas con diferente intensidad en su uso recreacional, ubicadas a lo largo de la quebrada Papalango con un caudal de 25 litros por segundo (LPS) (Figura 4). A continuación se detallan cada una de ellas:

- **La poza A**

Coordenadas Geográficas:

X= 600379.55

Y= 9545653.92

Presenta un área de 3.5 m² y una profundidad de 2 m. Se encuentra aguas arriba, fue elegida como punto de control debido a que no hay actividad recreativa. El difícil acceso y la abundante presencia de vegetación, la hace poco atractiva a los turistas.

- **La poza B**

Coordenadas Geográficas:

X= 600246.48

Y= 9545693.25

Presenta un área de 10 m² y una profundidad de 5m aproximadamente. Su abundante vegetación y la falta de infraestructura turística hacen que la actividad recreativa sea intermedia en relación a la siguiente poza. Así mismo se observó la utilización de detergentes para el lavado de ropa.

- **La poza C**

Coordenadas Geográficas:

X= 599336.05

Y= 9545740.46

Presenta un área de 8 m² y una profundidad de 6 m aproximadamente. En esta poza se da mayor actividad recreativa debido a su fácil acceso y cercanía a la ciudad de Pindal. Posee infraestructura turística como vestidores, baterías sanitarias, comedores, bar, estacionamiento, canchas y juegos infantiles. Esta poza es la más visitada por los turistas y se estima que al año llegan alrededor de 14 000 personas. De igual forma se evidenció la presencia de detergentes debido al lavado de ropa.

- **La poza D**

Coordenadas Geográficas:

X= 598710.76

Y= 9546058.23

Presenta un área de 6 m² y una profundidad de 3m. Se encuentra aguas abajo de las pozas A, B y C; y actúa como receptora, donde existe una actividad recreativa baja. Posee una mayor presencia de algas, así mismo se observó presencia de detergentes que indican que la poza es usada también para lavar ropa.

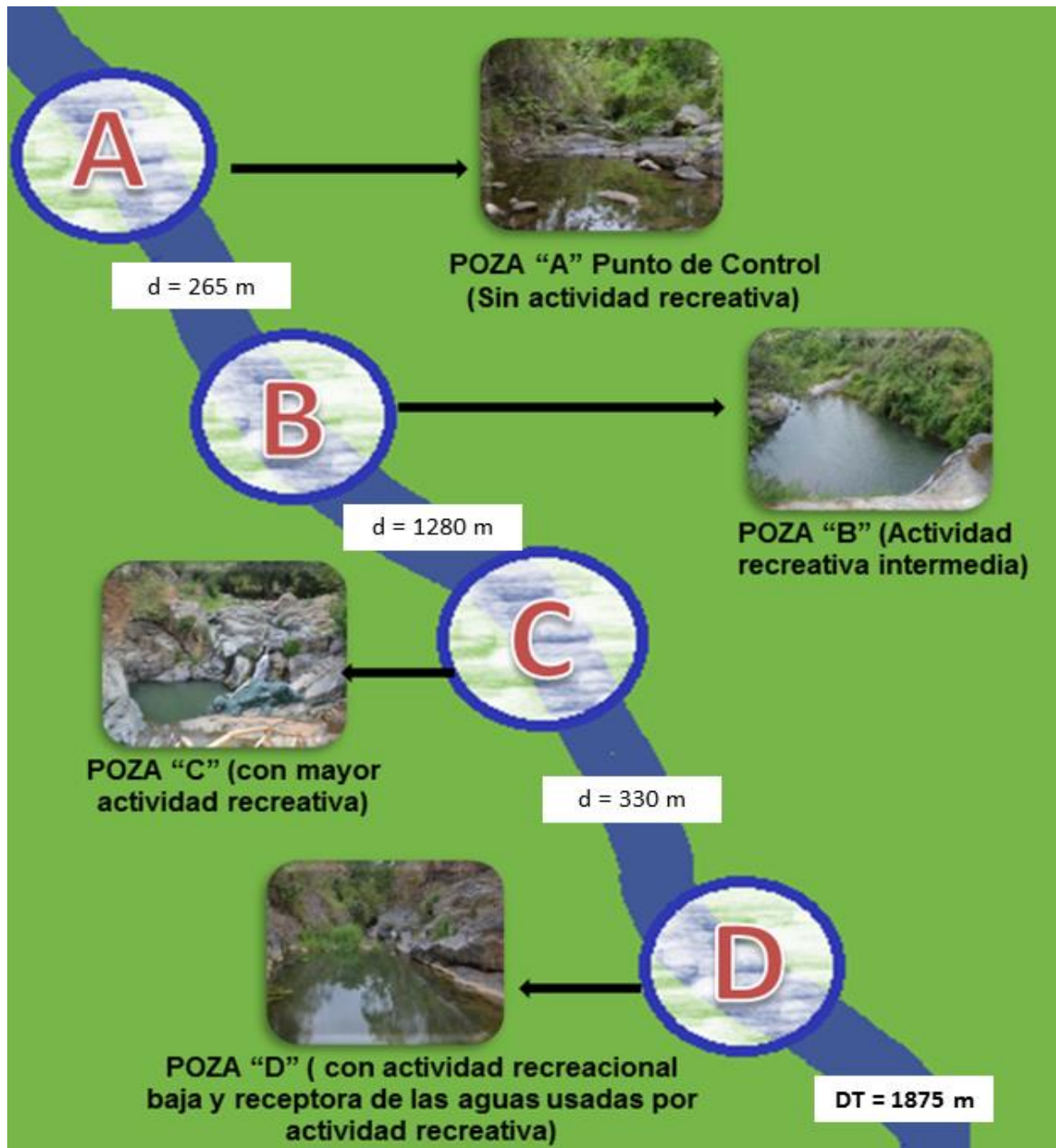


Figura 4. Esquema de la secuencia de la ubicación de los sitios o pozas estudiadas y su intensidad de uso recreacional

Fuente: Autoras

2.1.3 Recolección de muestras.

La obtención de las muestras de agua se llevó a cabo a inicios del año 2015 en dos temporadas distintas. La temporada alta que comprendió el feriado de carnaval y los fines de semana (4 días), debido a que anteriormente se había observado un incremento en el número de bañistas. Por otro lado, la temporada baja que consistió en días de trabajo normal entre semana (4 días), debido a que en estos días se ha observado que el número de bañistas es menor.

Por cada temporada se colectaron muestras de agua durante 4 días de la estación seca y 4 días en la estación lluviosa. En cada día se colectaron 3 muestras de agua con duplicados en tres tiempos diferentes entre las 14h a las 18h dando un total de 88 muestras. Además se registró el número de bañistas en cada hora de muestreo. A todas las muestras se les asignó un código con el punto de muestreo y hora correspondiente para poder ser procesadas en el laboratorio.

Los parámetros físico-químicos se determinaron *in situ* y en el laboratorio. En cada tiempo de medición se determinó la temperatura del agua, pH y conductancia con una sonda multiparámetro PCTESTR™ 35(OAKTON), el oxígeno disuelto y saturado se midió con una sonda SPER SCIENTIFIC MODELO 850045. Los sólidos totales disueltos se midieron con un multiparámetro HANNA INSTRUMENTS MODELO HI9829.

Otros parámetros físico- químicos como turbidez, fosfatos y nitratos fueron medidos en el laboratorio, a partir de muestras de agua colectadas en botellas de plástico esterilizadas de 500 ml a una profundidad de 30 cm.

Para el análisis microbiológico las muestras de agua se colectaron en frascos esterilizados de 125 ml, a una profundidad de 30 cm. Las muestras de agua fueron inmediatamente trasladadas al laboratorio y para ello se requirió materiales como geles congelados y cooler para mantener las muestras a una temperatura entre 3 y 7 °C para evitar la proliferación de las colonias de coliformes.

2.1.4. Fase de laboratorio.

Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Mancomunidad Bosque Seco, ubicado en la ciudad de Pindal. Los parámetros microbiológicos analizados fueron coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Por otro lado, los parámetros físico-químicos analizados fueron turbidez, fosfatos y nitratos.

A continuación se detalla los métodos empleados en la fase de laboratorio para cada uno de los parámetros:

2.1.4.1. Determinación de coliformes totales y *E. coli*.

La determinación de estos parámetros se realizó a través del MÉTODO 10029 (Filtración de membrana), basados en el MANUAL DE ANALISIS DE AGUA-HACH- 2DA EDICIÓN 2000, adaptación de STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 18VA EDICIÓN, MÉTODO 9222 Técnica con filtro de membrana para los miembros del grupo coliforme.

Procedimiento:

- 1.- Colocar una almohadilla absorbente esterilizada en una caja petri (utilizar las pinzas esterilizadas). Volver a colocar la tapa de la caja petri.
- 2.- Invertir la posición de las ampollas 2 ó 3 veces para mezclar el caldo. Abrir una ampolla de caldo m-ColiBlue24. Verter los contenidos en forma uniforme sobre la almohadilla absorbente. Volver a colocar la tapa de la caja petri.
- 3.- Armar el aparato de filtro de membrana. Con las pinzas esterilizadas, colocar un filtro de membrana con la rejilla hacia arriba en el conjunto.
- 4.- Agitar la muestra enérgicamente para mezclar. Verter 100 ml de muestra o muestra diluida en el embudo. Aplicar vacío y filtrar la muestra. Enjuagar las paredes del embudo 3 veces con 20 a 30 ml de agua de dilución tamponada esterilizada
- 5.- Apagar el vacío y levantar la parte superior del embudo. Con las pinzas esterilizadas, transferir el filtro a la caja petri previamente preparada.

6.- Rotar levemente el filtro y colocarlo con la rejilla hacia arriba en la almohadilla absorbente. Verificar la presencia de aire atrapado debajo del filtro y asegurarse de que el filtro esté en contacto con toda la almohadilla. Volver a colocar la tapa de la caja petri

7.- Invertir la caja petri e incubar a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 22 a 24 horas.

8.- Retirar la caja petri de la incubadora y realizar el recuento de colonias utilizando un microscopio estereoscópico de 10 a 15X.

Dilución coliformes totales

Para facilitar el conteo de las colonias de coliformes totales y *E. coli* se realizó el proceso de dilución que consiste en tomar 10 ml de la muestra y colocarlas en 90 ml de agua destilada y agitarla hasta homogenizar la muestra.

Para el conteo se aplicó la siguiente fórmula:

$$Fd = Vf/Vi$$

$$Fd = 100\text{ml}/10\text{ml}$$

$$Fd = 10$$

Donde Fd es el factor de dilución, Vf es el volumen que se desea preparar de la dilución y Vi es el volumen de la dilución madre.

El total obtenido se multiplicó por 10 ya que este es el factor de dilución. Los puntos de color rojo corresponden a los coliformes totales y los puntos de color azul identifican a los *E. coli* (Figura 5). Los resultados fueron expresados como unidades formadoras de colonias ($\text{UFC } 100 \text{ ml}^{-1}$).

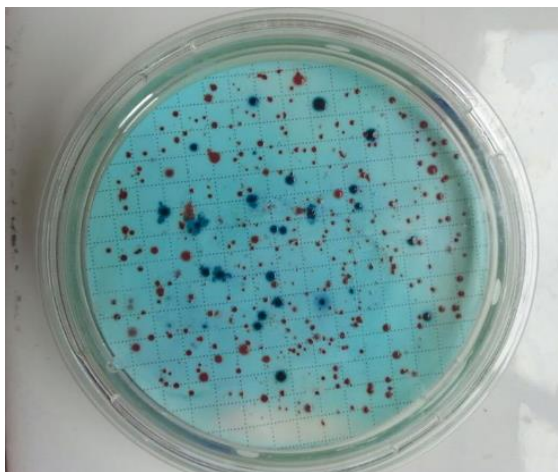


Figura 5. Caja petri de coliformes totales y *E. coli*

2.1.4.2. Determinación de coliformes fecales.

La determinación de este parámetro se realizó a través del MÉTODO 8074 (Filtración de membrana), basados en el MANUAL DE ANALISIS DE AGUA-HACH- 2DA EDICIÓN 2000, adaptación de STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 18VA EDICIÓN, MÉTODO 9222 Técnica con filtro de membrana para los miembros del grupo coliforme.

Procedimiento:

- 1.- Colocar una almohadilla absorbente en una caja petri esterilizada utilizando pinzas esterilizadas. Volver a colocar la tapa de la caja petri.
- 2.- Invertir una ampolla de caldo m-Endo Pour Rite 2 ó 3 veces para mezclar el caldo. Utilizar el abridor de ampolla (Cat. No. 24846-00)
- 3.- Armar el conjunto de filtro de membrana. Con las pinzas esterilizadas, colocar un filtro de membrana con la rejilla hacia arriba en el conjunto.
- 4.- Agitar la muestra enérgicamente para mezclar. Verter 100 ml de muestra en el embudo. Aplicar vacío y filtrar la muestra. Enjuagar las paredes del embudo 3 veces con agua de dilución tamponada esterilizada. Utilizar de 20 a 30 ml de agua por enjuague.
- 5.- Apagar el vacío y levantar la parte superior del embudo. Con las pinzas esterilizadas, transferir el filtro a la caja petri previamente preparada.

6.- Rotar levemente el filtro y centrarlo con la rejilla hacia arriba en la almohadilla absorbente. Verificar la presencia de aire atrapado debajo del filtro y asegurarse de que el filtro esté en contacto con toda la almohadilla. Volver a colocar la tapa de la caja petri.

7.- Invertir la caja petri e incubar a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 22 a 24 horas

8.- Después de la incubación, realizar el recuento de colonias con un brillo metálico verde amarillento en un microscopio estereoscópico de 10 a 15X.

9.- Registrar los resultados de la prueba

10.- Según el protocolo de la prueba, confirmar los resultados positivos.

Dilución coliformes fecales

Para facilitar el conteo de las colonias de coliformes fecales se realizó el proceso de dilución que consiste en tomar 10 ml de la muestra y colocarlas en 90 ml de agua destilada y agitarla hasta homogenizar la muestra.

Para el conteo se aplicó la siguiente fórmula:

$$Fd = Vf/Vi$$

$$Fd = 100\text{ml}/10\text{ml}$$

$$Fd = 10$$

Donde Fd es el factor de dilución, Vf es el volumen que se desea preparar de la dilución y Vi es el volumen de la dilución madre.

Ya realizado el cultivo y obtenido los resultados se procedió a contar las colonias formadoras de coliformes, mediante el proceso de observación de las colonias resultantes localizadas en la membrana cuadrículada. Los puntos de color azul corresponden a los coliformes fecales (Figura 6). Los resultados fueron expresados como unidades formadoras de colonias (UFC 100 ml^{-1}).

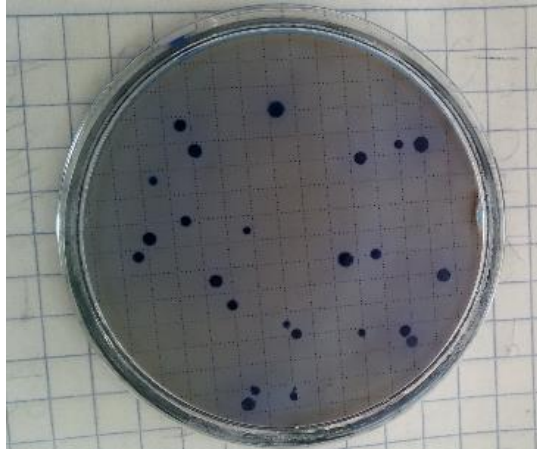


Figura 6. Caja Petri de coliformes fecales

2.1.4.3. Determinación de turbidez.

Para la determinación de este parámetro (Figura 7) se utilizó un turbidímetro (2100N, EPA, 115 Vac), basados en STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 21th Edition 2005, 2130 B MÉTODO NEFELOMÉTRICO.

Procedimiento:

1. Realizar la verificación del equipo con el set de estándar de turbiedad.
2. Agitar la muestra antes de la lectura
3. Llenar la celda con la muestra por analizar y enjuagarla dos veces con la muestra para evitar errores en la dilución.
4. Dejar estabilizar alrededor de 1 minuto.
5. Leer la turbiedad de la muestra.

Los resultados se expresaron en Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNT).



Figura 7. Proceso de medición de turbidez

2.1.4.4. Determinación de fosfatos.

La determinación de este parámetro (Figura 8) se realizó en el espectrofotómetro (DREL 2800), basados en PhosVer3 MÉTODO DE ÁCIDO ASCÓRBICO 8048, adaptación de STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Los resultados se expresaron como concentración de fosfatos ($\text{PO}_4^{3-} \text{ mg/l}^{-1}$).

Procedimiento:

- 1.-Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados
2. Seleccionar el test.
3. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10-mL hasta la marca de 10-mL con muestra.
4. La muestra preparada: añadir el contenido de un sobre de reactivo de Phos Ver 3 en polvo. Tapar la cubeta inmediatamente y agitar vigorosamente durante 30 segundos para mezclar.
5. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK.

Comienza un período de reacción de 2 minutos. Si la muestra fue sometida a digestión mediante el procedimiento de digestión para ácido persulfato, dejar 10 minutos de tiempo de reacción.

6. Preparación del blanco: llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10-mL hasta la marca de 10-mL con muestra

7. Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.

- Seleccionar en la pantalla: Cero

- La pantalla indicará: 0.00 mg/L PO_4^{3-}

8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.

- Seleccionar en la pantalla: Medición

- El resultado aparecerá en mg/L PO_4^{3-}



Figura 8. Muestras con reactivo Phos Ver 3
Phospahte Reagent

2.1.4.5. Determinación de nitratos.

La determinación de este parámetro(Figura 9) se realizó en el equipo HACH DR 2800, basados en la metodología REDUCCIÓN DE CADMIO METODO HACH Standard Methods 4500 NO3- E

Procedimiento:

1. Fijar el Programa 353
2. Fijar celda de 10ml de agua muestra
3. Fijar celda de 10ml de agua des ionizada
4. Adicionar el contenido de una almohadilla de NITRAVER 5 a cada celda y agitar
5. Presionar SHIFT TIMER (5minutos)
6. Colocar el blanco en la cavidad de medida
7. Press: cero
8. Colocar la muestra
9. Press: READ NO3-.

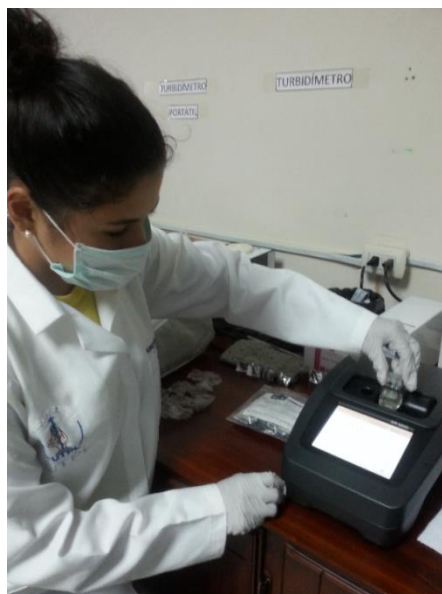


Figura 9. Medición de nitratos

2.1.5. Análisis estadístico.

El análisis de datos se realizó con el programa estadístico (R Development Core Team 2014). Los valores de cada parámetro fueron organizados en una matriz para ser comparados entre temporada (alta vs. baja), estación climática (seca vs. lluviosa), y espacialmente (aguas arriba vs. aguas abajo).

Para evaluar los cambios espaciales y temporal en la calidad físico-químico y microbiológica del balneario se aplicaron modelos lineales mixtos (MLM) en un diseño de tres factores fijos y las fuentes de variación fueron temporada (2 niveles), estación (2 niveles) y poza (4 niveles) y sus interacciones. El día del muestreo fue considerado como un factor aleatorio. Los MLM fueron ejecutados usando la función 'lme' del paquete 'nlme' (Pinheiro et al. 2014), fueron ajustados por mínimos cuadrados generalizados y los parámetros fueron estimados usando procedimientos de máxima verosimilitud. La distribución normal de los residuos de cada MLM fue evaluado con el test de Shapiro-Wilk, y los datos fueron logarítmicamente transformados cuando una distribución no normal fue detectada.

Para evaluar si la actividad recreacional disminuye la calidad microbiológica del agua del balneario, se analizó las concentraciones de coliformes (totales, fecales y *E. coli*) en relación al número de bañistas aplicando un MLM similarmente parametrizado.

2.1.6. Estrategias de manejo y conservación para el uso recreacional del balneario “Piscinas Naturales de Pindal”.

En base a los resultados obtenidos de la calidad físico-química y microbiológica del agua del balneario, se plantearon algunas estrategias para garantizar la salud pública de los usuarios y conservar este atractivo ecoturístico del Sur del Ecuador. Los resultados fueron comparados con los criterios de calidad para aguas con fines recreativos establecidos en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. LIBRO VI (TULSMA, 2008), dichas comparaciones fueron el punto de partida para establecer como caso pionero, acciones de manejo y conservación para el uso recreacional y la sostenibilidad de balnearios altamente concurridos.

CAPÍTULO III

3.1. Resultados

3.1.1. Variación espacio-temporal de la calidad físico-química y microbiológica.

3.1.1.1. Potencial de Hidrógeno (pH).

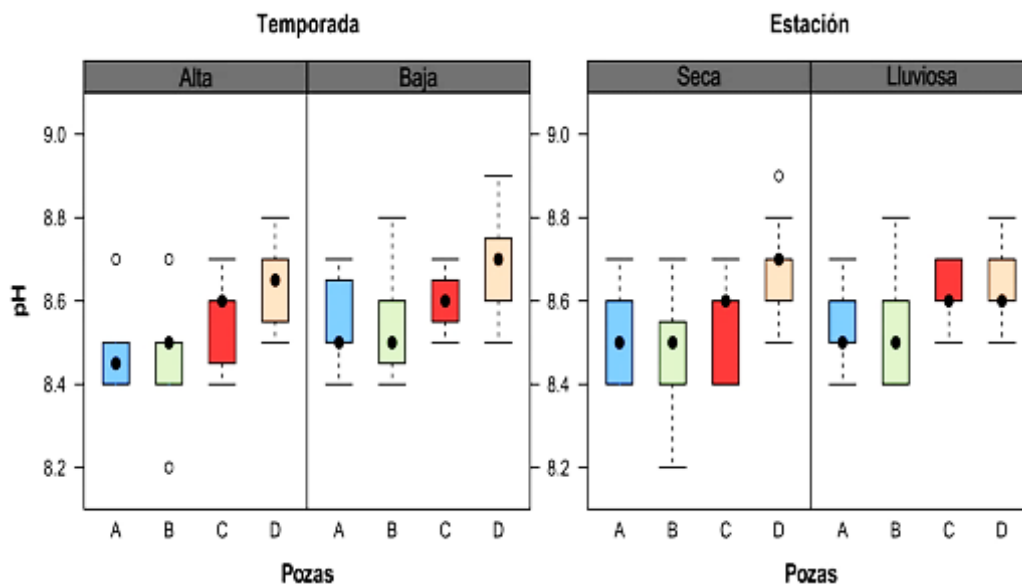


Figura 10. Valores de potencial hidrógeno (pH) por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 10, en promedio los niveles de pH varían entre valores de 8.4 a 8.7 entre las pozas A, B, C y D, de las cuales se determinó que existe una diferencia significativa entre pozas (Tabla 2). No ocurre lo mismo entre temporadas y entre estaciones climáticas dado que no se evidencia diferencias significativas en el pH del agua de las pozas (Tabla 2). Tampoco se observa un efecto entre la interacción de estos factores (Tabla 2).

La variación de los niveles de pH en las pozas C (8.5) y D (8.7) puede estar relacionada a factores externos como la temperatura. A medida que aumenta la temperatura una mayor proporción de moléculas de agua se rompen, lo que produce más hidrógeno, que luego aumenta el pH del agua.

Los valores obtenidos en los muestreos indican un pH alcalino con valores superiores a 6.5, productos fertilizantes utilizados en la agricultura que contienen: nitrato potásico, nitrato cálcico, nitrato magnésico y sulfato potásico, son los que tienden a alcalinizar el agua.

Tabla 2. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para pH por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	207567.50	<.001
Temporadas	1	62	0.28	0.601
Estación	1	62	0.33	0.577
Pozas	3	62	4.36	0.008
Temporadas x Estación	1	62	1.30	0.259
Temporadas x Pozas	3	62	1.16	0.332
Estación x Pozas	3	62	1.39	0.254
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	1.13	0.343

Los valores de pH medidos en todas las pozas casi siempre sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de pH, que según la normativa de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008) el rango debe estar entre 6.5 a 8.5.

3.1.1.2. Conductancia.

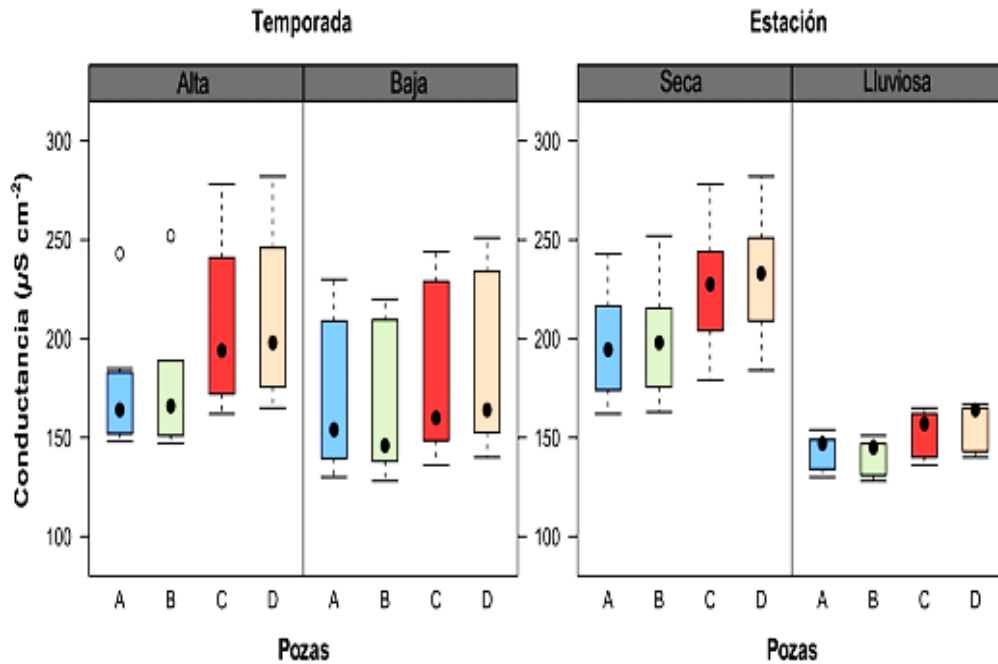


Figura 11. Valores de conductividad por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 11, en promedio los niveles de conductancia aumentan gradualmente de $141 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$ a $231 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$ entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre pozas, entre estaciones climáticas y entre temporadas (Tabla 3). Adicionalmente, se observa un efecto significativo entre la interacción de temporadas y estación climática (Tabla 3).

Los niveles de conductancia fueron mayores en la estación seca ($214 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$) que en la estación lluviosa ($149 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$). Así mismo, los niveles de conductancia fueron mayores en la temporada alta ($193 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$) que en la temporada baja ($181 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$). Durante la estación seca y temporada alta se producen cambios en los niveles de conductancia, producto del incremento de la temperatura. La temperatura del agua afecta a la conductancia de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3 % por grado Celsius.

La conductancia varía gradualmente entre la poza A ($174 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$), B ($174 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$), C ($197 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$) y D ($202 \mu\text{S}/\text{cm}^{-2}$) donde se observa que, en la poza C se da un aumento en los valores de conductancia debido a la mayor presencia de bañistas que incrementan la temperatura. Lo mismo ocurre en la poza D, ya que es la poza receptora de las aguas usadas para actividad recreacional.

Tabla 3. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para conductividad por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	24183.70	<.001
Temporadas	1	62	5.45	0.023
Estación	1	62	611.80	<.001
Pozas	3	62	20.68	<.001
Temporadas xEstación	1	62	122.05	<.001
Temporadas xPozas	3	62	0.19	0.8999
Estación xPozas	3	62	1.26	0.2975
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	0.16	0.9227

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de conductancia medidos en todas las pozas no sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de conductancia, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) que establece un máximo de 1000 US/cm.

3.1.1.3. Temperatura.

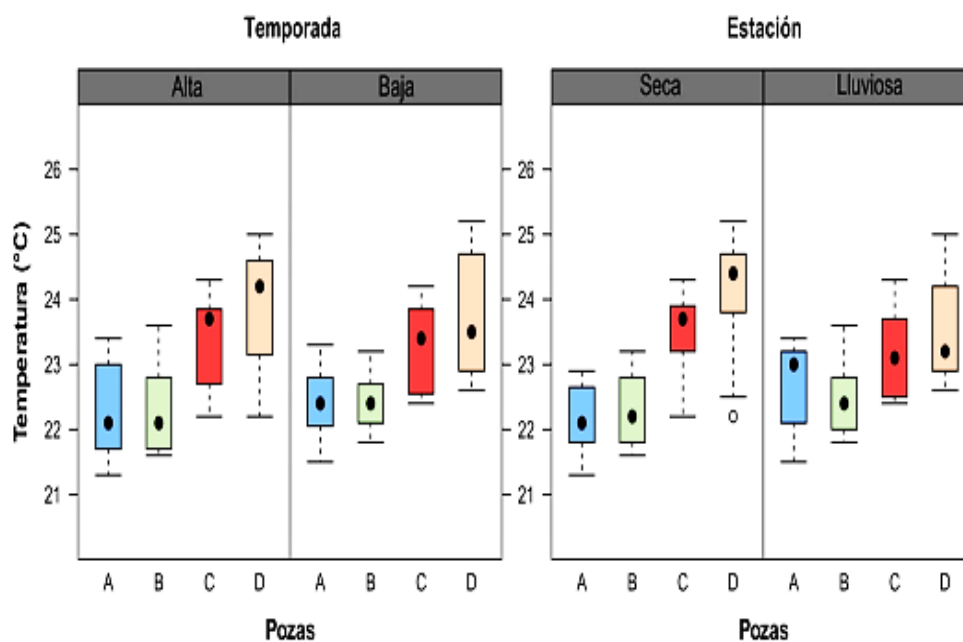


Figura 12. Valores de temperatura por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal

De acuerdo a la Figura 12, en promedio los niveles de temperatura aumentan gradualmente de 22.2 °C a 24.1 °C entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre pozas (Tabla 4). No ocurre lo mismo entre temporadas y entre estaciones climáticas dado que no se evidencia diferencias significativas en conductancia en las pozas (Tabla 4). Adicionalmente, se observa un efecto significativo entre la interacción de temporadas y estación climática (Tabla 4).

La temperatura varía gradualmente entre la poza A (21.4°C), B (22.4°C), C (23.4°C) y D (23.8°C), donde se observa que, en la poza C se da un aumento de la temperatura debido a la mayor presencia de bañistas. Lo mismo ocurre en la poza D, ya que es la poza receptora de las aguas usadas para actividad recreacional.

Tabla 4. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para temperatura por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	70931.89	<.001
Temporadas	1	62	0.40	0.527
Estación	1	62	0.00	0.948
Pozas	3	62	32.34	<.001
Temporadas x Estación	1	62	72.57	<.001
Temporadas x Pozas	3	62	0.05	0.986
Estación x Pozas	3	62	2.63	0.058
Temporadas x Estación xPozas	3	62	1.89	0.141

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de temperatura medidos en todas las pozas no sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de temperatura, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), que establece un límite máximo de 32 °C.

3.1.1.4. Turbidez.

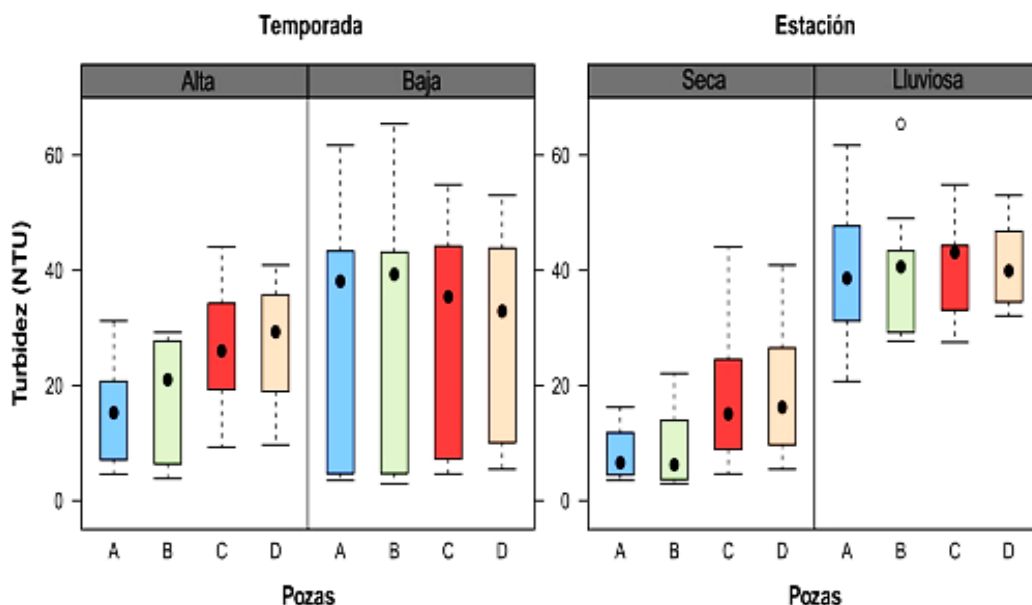


Figura 13. Valores de turbidez por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 13, en promedio los niveles de turbidez aumentan gradualmente de 8 NTU a 41 NTU entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre temporadas y entre estaciones climáticas (Tabla 5). No ocurre lo mismo entre pozas dado que no se evidencia diferencias significativas en la turbidez de las pozas (Tabla 5). Adicionalmente, se observa un efecto significativo entre la interacción de temporadas y estación climática (Tabla 5).

Los niveles de turbidez fueron mayores en la estación lluviosa (40 NTU) que en la estación seca (14 NTU). Así mismo, los niveles de turbidez fueron mayores en la temporada baja (27.7 NTU) que en la temporada alta (22.2 NTU). Esto se debe a que durante la temporada baja se dio la presencia de lluvias.

La turbidez se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas, siendo mayores en temporadas de lluvia, debido al arrastre de partículas y materia orgánica que se encuentran en el suelo, las aguas turbias suele atribuirse a un alto nivel de STD.

Tabla 5. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para turbidez por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	439.26	<.001
Temporadas	1	62	27.60	<.001
Estación	1	62	398.32	<.001
Pozas	3	62	1.45	0.237
Temporadas x Estación	1	62	70.23	<.001
Temporadas x Pozas	3	62	1.03	0.386
Estación x Pozas	3	62	0.71	0.550
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	0.57	0.634

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de turbidez medidos en todas las pozas no sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de turbidez, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de Canadá (Environment Canada) que establece un límite máximo de 50 NTU.

3.1.1.5. Sólidos Totales Disueltos.

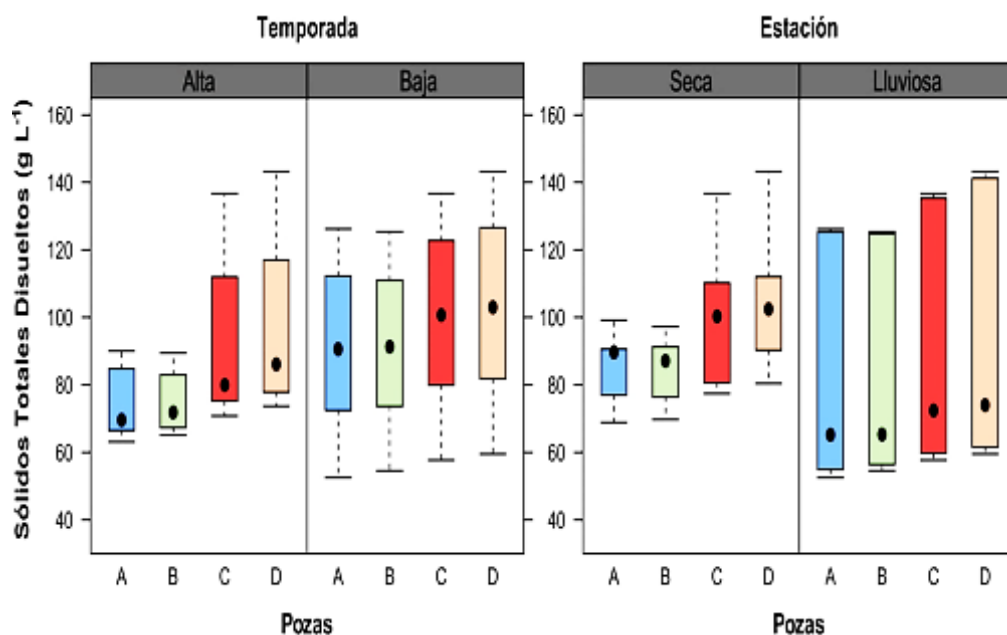


Figura 14. Valores de sólidos totales disueltos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la figura 14, en promedio los niveles de sólidos totales disueltos aumentan gradualmente de 74 mg/ l⁻¹ a 105.4 mg/ l⁻¹ entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre temporadas (Tabla 6). No ocurre lo mismo entre pozas y entre estaciones climáticas dado que no se evidencia diferencias significativas en los sólidos totales disueltos (Tabla 6). Además, no se observa ningún efecto significativo entre la interacción de factores (Tabla 6).

Los niveles de sólidos totales disueltos fueron mayores en la temporada baja (98mg/ l⁻¹) que en la temporada alta (86 mg/ l⁻¹). Esto se debe a que durante la temporada baja se dio la presencia de lluvias.

Tabla 6. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para sólidos totales disueltos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	1117.07	<.001
Temporadas	1	62	14.31	0.004
Estación	1	62	1.79	0.186
Pozas	3	62	1.05	0.375
Temporadas x Estación	1	62	0.39	0.536
Temporadas x Pozas	3	62	0.05	0.986
Estación xPozas	3	62	0.03	0.999
Temporadas x Estación xPozas	3	62	0.02	0.996

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008).

3.1.1.6. Oxígeno Disuelto.

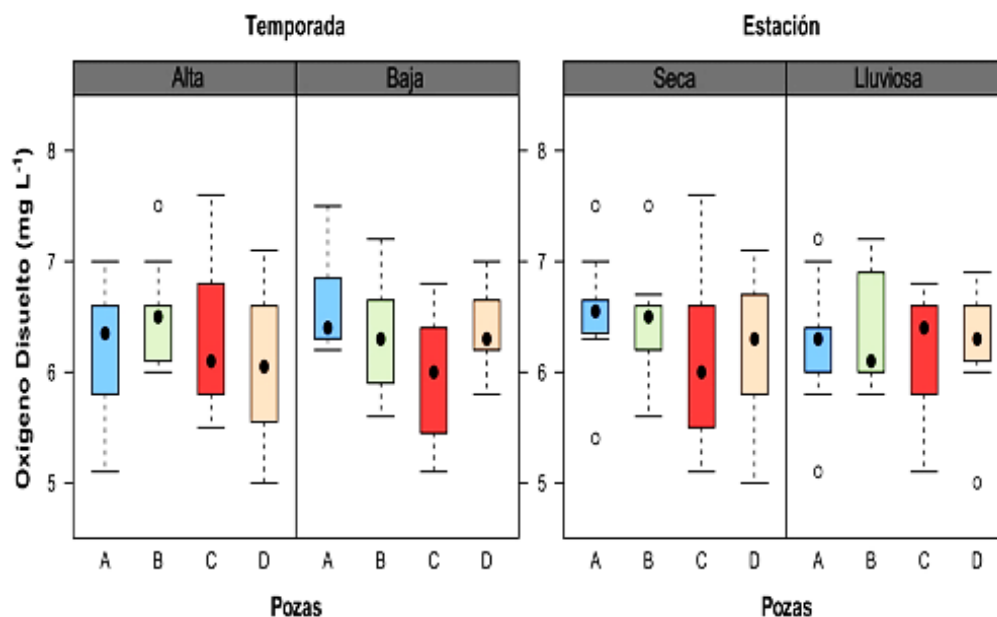


Figura 15. Valores de oxígeno disuelto por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 15, en promedio los niveles de oxígeno disuelto aumentan gradualmente de 6 mg/l¹ a 6.63 mg/l¹ entre las pozas A, B, C y D. Sin embargo, no existe una diferencia significativa entre pozas, y tampoco entre temporadas y entre estación climática (Tabla 7). No obstante, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; temporadas con estación climática y de temporadas con pozas (Tabla 7).

El oxígeno disuelto (OD) en el agua depende de factores tales como la temperatura, así por ejemplo, a mayores temperaturas la cantidad de oxígeno en el agua puede disminuir de manera significativa.

Tabla 7. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para oxígeno disuelto por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	10974.01	<.001
Temporadas	1	62	0.00	0.964
Estación	1	62	1.19	0.279
Pozas	3	62	0.92	0.434
Temporadas x Estación	1	62	8.49	0.005
Temporadas x Pozas	3	62	3.54	0.020
Estación x Pozas	3	62	0.69	0.564
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	0.78	0.509

Los valores de oxígeno disuelto medidos en todas las pozas, cumplieron con la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008), la cual establece que la cantidad de oxígeno disuelto no debe ser menor a 6 mg L⁻¹.

3.1.1.7. Porcentaje de Saturación de Oxígeno.

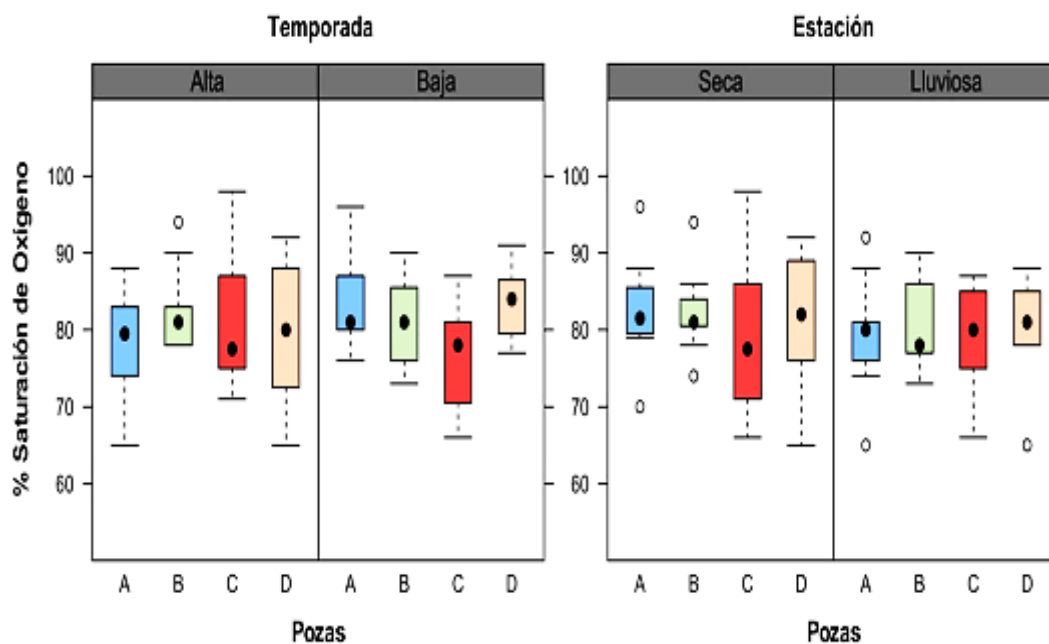


Figura 16. Valores de porcentaje de saturación de oxígeno por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 16, en promedio los niveles de % de saturación de oxígeno aumentan gradualmente de 76 % a 84 % entre las pozas A, B, C y D. Si bien es cierto, la saturación de oxígeno no se ve afectada significativamente entre estación climática, entre temporadas y entre pozas, pero si se observa un efecto significativo entre temporada con pozas (Tabla 8). Esto se debe, a que las pozas con mayor actividad recreacional, tienden a bajar el porcentaje de saturación de oxígeno como consecuencia de la reducción en la concentración de oxígeno disuelto relacionado con la temperatura.

Tabla 8. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para porcentaje de saturación de oxígeno por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	10991.19	<.001
Temporadas	1	62	0.06	0.804
Estación	1	62	1.71	0.196
Pozas	3	62	0.65	0.587
Temporadas x Estación	1	62	2.93	0.092
Temporadas x Pozas	3	62	3.44	0.022
Estación x Pozas	3	62	0.53	0.661
Temporadas xEstación xPozas	3	62	1.10	0.356

Los valores de porcentaje de saturación de oxígeno medidos en todas las pozas, cumplen en su totalidad con la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008), la cual establece que el porcentaje de saturación de oxígeno no debe ser menor al 80 %.

3.1.1.8. Fosfatos.

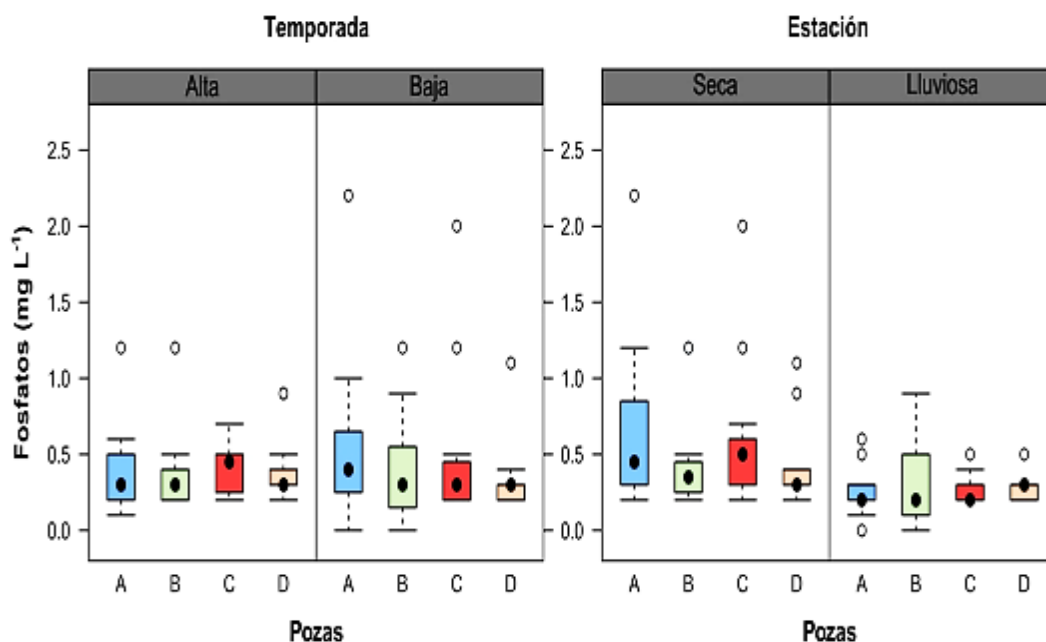


Figura 17. Valores de fosfatos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 17, en promedio los niveles de fosfatos aumentan gradualmente de $0,26 \text{ mg/l}^{-1}$ a $0,68 \text{ mg/l}^{-1}$ entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre estaciones climáticas (Tabla 9). No ocurre lo mismo entre temporadas y entre pozas dado que no se evidencia diferencias significativas en fosfatos (Tabla 9). Tampoco se observa un efecto significativo entre la interacción de factores (Tabla 9).

Los niveles de fosfatos fueron mayores en la estación seca ($0,5 \text{ mg/l}^{-1}$) que en la estación lluviosa ($0,3 \text{ mg/l}^{-1}$). Durante la estación seca la concentración de fosfatos fue mayor a causa de la falta de fluidez de agua. Mientras que, en la estación lluviosa las concentraciones fueron menores debido al aumento de la fluidez de agua, dando como resultado la transportación de este contaminante químico hacia otros cursos de agua.

La presencia de fosfatos puede deberse principalmente al uso de agroquímicos que se relacionan con las actividades agrícolas, ya que en este sector, la principal actividad es el monocultivo de maíz. Otra actividad que produce contaminación por fosfatos es el lavado de ropa, donde se emplea sustancias químicas tales como detergentes, los cuales incrementan las concentraciones de fosfatos en las pozas.

Tabla 9. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para fosfatos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	106.46	<.001
Temporadas	1	62	0.86	0.357
Estación	1	62	11.42	0.001
Pozas	3	62	0.48	0.697
Temporadas x Estación	1	62	0.95	0.334
Temporadas xPozas	3	62	0.54	0.654
Estación xPozas	3	62	0.92	0.435
Temporadas xEstación xPozas	3	62	0.41	0.749

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de turbidez medidos en todas las pozas no sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de turbidez, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la OMS (Organización Mundial de la Salud), que establece un límite máximo de fosfatos es 0.7 mg/l.

3.1.1.9. Nitratos.

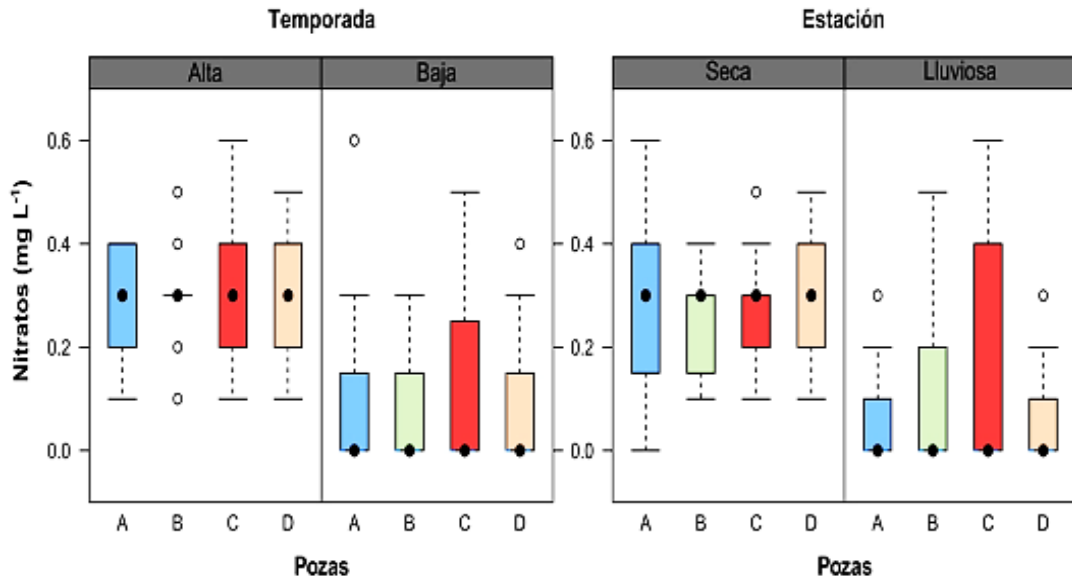


Figura 18. Valores de nitratos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 18, en promedio los niveles de nitratos aumentan gradualmente de 0 mg/l⁻¹ a 0,3 mg/l⁻¹ entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre temporadas y entre estaciones climáticas (Tabla 10). No ocurre lo mismo entre pozas dado que no se evidencia diferencias significativas en los nitratos (Tabla 10). No obstante, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores, temporadas con estaciones climáticas (Tabla 10).

Los niveles de nitratos fueron mayores en la estación seca (0.3 mg/l⁻¹) que en la estación lluviosa (0.1 mg/l⁻¹). Así mismo, los niveles de nitratos fueron mayores en la temporada alta (0.3 mg/l⁻¹) que en la temporada baja (0.2 mg/l⁻¹).

En la estación lluviosa se observa un aumento significativo en la cantidad de nitratos. El mismo efecto sucede durante la temporada alta y la estación seca. Esto se debe a que, en la estación seca los ecosistemas acuáticos en bosque seco tienden a contaminarse naturalmente, ocurriendo el incremento de los nutrientes retenidos en el agua que favorecen la proliferación de algas.

En la temporada alta se evidencia el aumento de nutrientes ocasionado por la presencia de bañistas, los cuales remueven los nutrientes en el agua, acumulados en la capa de sedimentos lo que facilita el aumento de nutrientes.

La presencia de nitratos se debe al uso de fertilizantes nitrogenados y a la lixiviación de materia fecal de los animales, que se relacionan con las actividades agrícolas y ganaderas, que son las principales actividades económicas del cantón.

Tabla 10. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para nitratos por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	71.30	<.001
Temporadas	1	62	9.68	0.003
Estación	1	62	12.07	0.001
Pozas	3	62	0.85	0.475
Temporadas x Estación	1	62	8.85	0.004
Temporadas x Pozas	3	62	0.46	0.710
Estación xPozas	3	62	0.81	0.492
Temporadas x Estación xPozas	3	62	1.38	0.257

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de nitratos medidos en todas las pozas no sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de nitratos, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) que establece un límite máximo de 50 mg/l.

3.1.1.10. Coliformes totales.

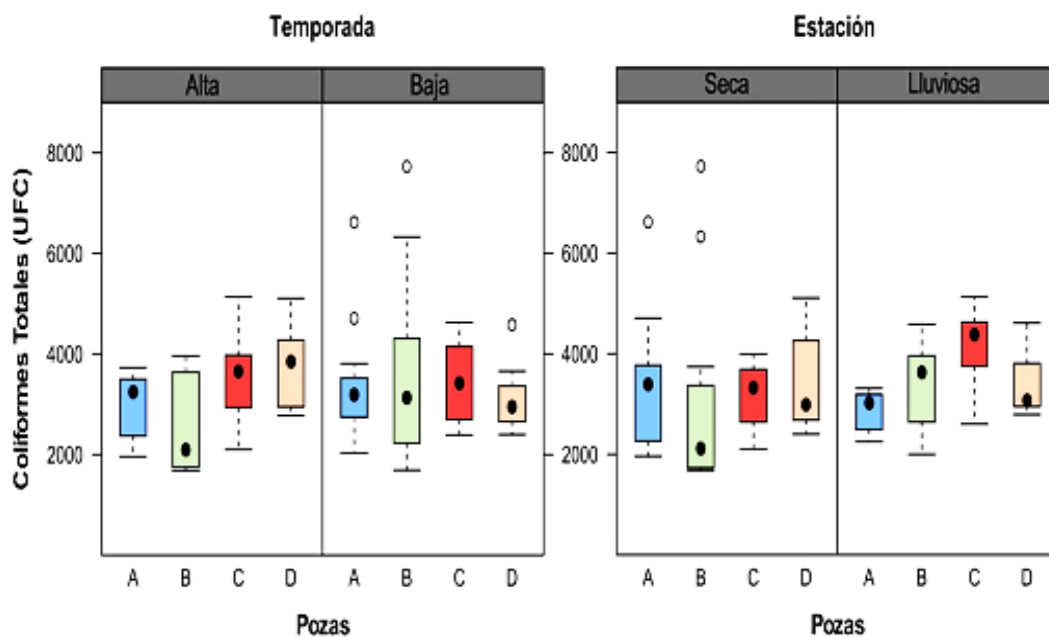


Figura 19. Valores de coliformes totales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 19, en promedio los niveles de coliformes totales aumentan gradualmente de 2556 UFC a 4059 UFC entre las pozas A, B, C y D. Sin embargo, no existe una diferencia significativa entre pozas, y tampoco entre temporadas y entre estación climática (Tabla 11). Tampoco, se observa un efecto significativo entre la interacción de factores (Tabla 11).

Tabla 11. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para coliformes totales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	764.88	<.001
Temporadas	1	62	0.72	0.401
Estación	1	62	0.40	0.528
Pozas	3	62	0.43	0.733
Temporadas x Estación	1	62	0.01	0.939
Temporadas x Pozas	3	62	1.64	0.188
Estación xPozas	3	62	2.21	0.096
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	1.59	0.200

Los valores de coliformes totales medidos en todas las pozas, sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de coliformes totales, que según la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008) no debe ser mayor a 1000 UFC.

Valores elevados de coliformes totales en las pozas, evidencian que las actividades ganaderas dadas en la microcuenca alteran la calidad del agua.

3.1.1.11. Coliformes fecales.

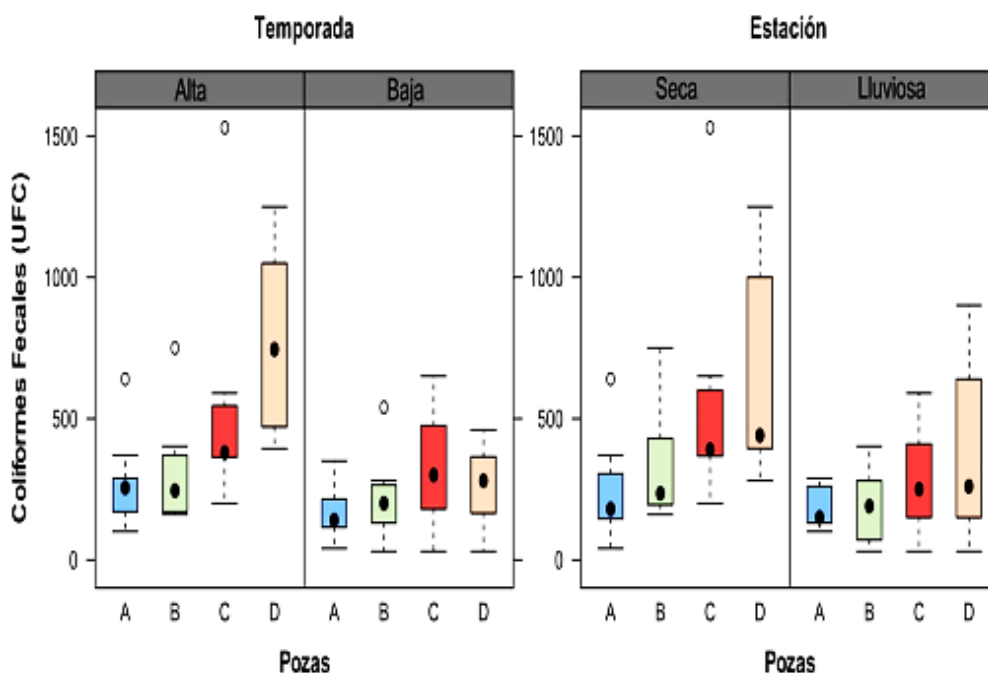


Figura 20. Valores de coliformes fecales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 20, en promedio los niveles de coliformes fecales aumentan gradualmente de 166 UFC a 766 UFC entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre pozas, entre temporadas y entre estaciones climáticas (Tabla 12). Así mismo, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; temporadas con pozas (Tabla 12).

Los niveles de coliformes fecales fueron mayores en la estación seca (473UFC) que en la estación lluviosa (262 UFC). Así mismo, los niveles de coliformes fecales fueron mayores en la temporada alta (527 UFC) que en la temporada baja(247 UFC).

La concentración de coliformes fecales varía gradualmente entre la poza A (214 UFC), B (267 UFC), C (516 UFC) y D (524 UFC), donde se observa que, en la poza C se da un aumento de la concentración de coliformes fecales debido a la mayor presencia de bañistas. Lo mismo ocurre en la poza D, ya que es la poza receptora de las aguas usadas para actividad recreacional.

En la estación seca se produce el aumento de la concentración de coliformes fecales a causa del aumento de temperatura y del estancamiento del agua por falta de lluvias. Dado que los valores de los parámetros microbiológicos se ven influenciados por la temperatura.

Por otro lado, durante la temporada alta, se observó el incremento de coliformes fecales ya que los bañistas producen la remoción de sedimentos, lo que conlleva el aumento de la concentración de coliformes debido a que el número de bacterias fecales presentes en los sedimentos es mayor que en el agua, estos patógenos pueden sobrevivir en los sedimentos de agua dulce por meses.

Tabla 12. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para coliformes fecales por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	120.23	<.001
Temporadas	1	62	20.55	<.001
Estación	1	62	5.90	0.018
Pozas	3	62	5.91	0.001
Temporadas x Estación	1	62	0.02	0.958
Temporadas x Pozas	3	62	3.54	0.020
Estación x Pozas	3	62	1.16	0.331
Temporadas x Estación x Pozas	3	62	0.37	0.773

Los valores de coliformes fecales medidos en todas las pozas, casi siempre sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de coliformes fecales, que según la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008) no debe ser mayor a 200 UFC

3.1.1.12. *Escherichia coli*.

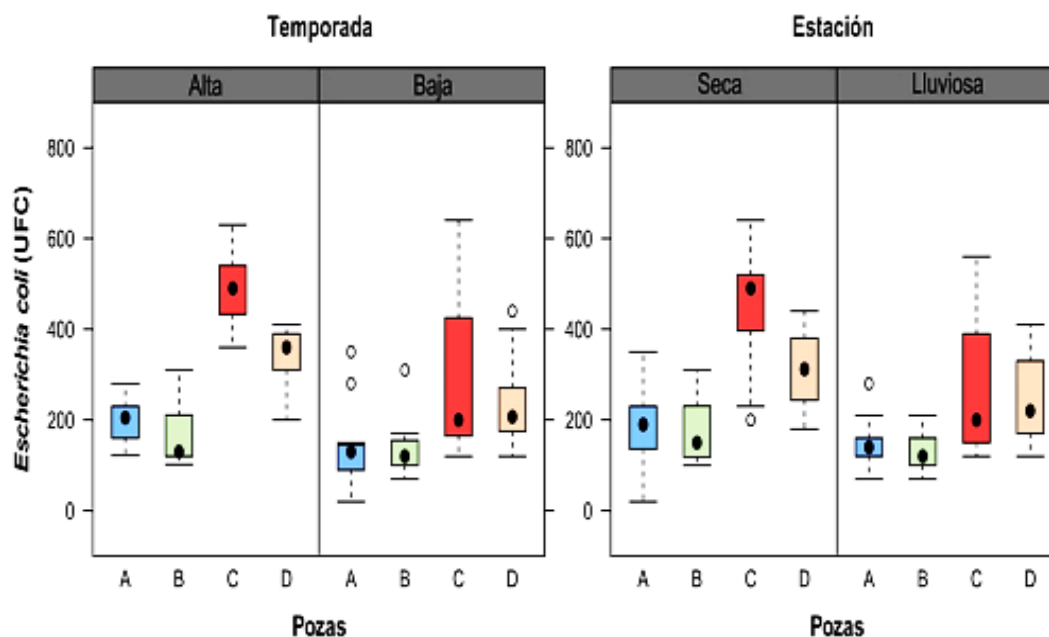


Figura 21. Valores de *Escherichia coli* por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A-D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal.

De acuerdo a la Figura 21, en promedio los niveles de *Escherichia coli* aumentan gradualmente de 129 UFC a 484 UFC entre las pozas A, B, C y D. Existiendo una diferencia significativa entre pozas, entre temporadas y entre estaciones climáticas (Tabla 13). Así mismo, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; temporadas con estaciones climáticas y de temporadas con pozas (Tabla 13).

Las concentraciones de *E. coli* fueron mayores en la estación seca (282 UFC) que en la estación lluviosa (202 UFC). Así mismo, las concentraciones de *E. coli* fueron mayores en la temporada alta (299 UFC) que en la temporada baja (203 UFC).

Las concentraciones de *E. coli* varían gradualmente entre la poza A (168 UFC), B (155 UFC), C (378 UFC) y D (283 UFC) donde se observa que, en la poza C se da un aumento de las concentraciones de *E. coli* debido a la mayor presencia de bañistas.

En la estación seca se produce el aumento de la concentración de las concentraciones de *E. coli* a causa del aumento de temperatura y del estancamiento del agua por falta de lluvias. Por otro lado, durante la temporada alta, se observó el incremento de las concentraciones de *E. coli*. Debido a que los bañistas adicionan bacterias de *E. coli* al agua, a través de la piel, mucosa y sistema genital-urinario.

Tabla 13. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para *E. coli* por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	62	266.95	<.001
Temporadas	1	62	25.06	<.001
Estación	1	62	9.16	0.004
Pozas	3	62	29.09	<.001
Temporadas x Estación	1	62	8.34	0.005
Temporadas x Pozas	3	62	3.20	0.029
Estación x Pozas	3	62	1.71	0.175
Temporadas x Estación xPozas	3	62	1.14	0.340

Este parámetro no está considerado en la normativa ecuatoriana de calidad de agua para fines recreativos (TULSMA, 2008). Los valores de *Escherichia coli* medidos en todas las pozas sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP) de *Escherichia coli*, según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), que establece un máximo para *Escherichia coli* de 126 UFC/100 ml.

3.1.2. Relación entre la calidad microbiológica del agua y el uso recreacional del balneario.

3.1.2.1 Coliformes totales y número de bañistas.

El modelo indica que el efecto del número de bañistas sobre la concentración de coliformes totales no expresa una diferencia significativa entre temporadas, y entre estaciones climáticas y tampoco entre pozas (Tabla 14). No obstante, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; usuarios con temporada y con pozas (Tabla 14).

Tabla 14. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de coliformes totales en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F	P
(Intercept)	1	55	729.9	<0.0001
Usuarios	1	55	0.4	0.5137
Temporada	1	55	0.8	0.3497
Estación	1	55	0.3	0.5817
Pozas	3	55	0.3	0.8444
Usuarios × Temporada	1	55	1.9	0.1665
Usuarios × Estación	1	55	2.8	0.0990
Usuarios × Pozas	2	55	0.0	0.9727
Temporada × Estación	1	55	0.5	0.4607
Temporada × Pozas	3	55	1.6	0.1880
Estación × Pozas	3	55	2.2	0.0953
Usuarios × Temporada × Estación	1	55	0.0	0.8346
Usuarios × Temporada × Pozas	2	55	3.4	0.0378
Usuarios × Estación × Pozas	1	55	2.8	0.0969
Temporada × Estación × Pozas	3	55	1.6	0.1998
Usuarios × Temporada × Estación × Pozas	3	55	0.2	0.6851

3.1.2.2. Coliformes fecales y número de bañistas.

El modelo indica que el efecto del número de bañistas sobre la concentración de coliformes fecales fue altamente significativo entre temporadas y entre estaciones climáticas, y entre pozas (Tabla 15). Así mismo, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; usuarios con estaciones climáticas y de temporadas con pozas (Tabla 15).

Tabla 15. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de coliformes fecales en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F	P
(Intercept)	1	55	24.7	<0.0001
Usuarios	1	55	6.1	0.0158
Temporada	1	55	16.5	0.0001
Estación	1	55	6.9	0.0103
Pozas	3	55	4.2	0.0314
Usuarios x Temporada	1	55	2.4	0.1291
Usuarios x Estación	1	55	5.0	0.0282
Usuarios x Pozas	2	55	0.2	0.6223
Temporada x Estación	1	55	0.0	0.0947
Temporada x Pozas	3	55	3.5	0.0195
Estación x Pozas	3	55	1.2	0.3313
Usuarios x Temporada x Estación	1	55	0.2	0.6660
Usuarios x Temporada x Pozas	2	55	2.5	0.0841
Usuarios x Estación x Pozas	1	55	1.6	0.2040
Temporada x Estación x Pozas	3	55	0.4	0.7735
Usuarios x Temporada x Estación x Pozas	3	55	0.0	0.9728

3.1.2.3. *Escherichia coli* y número de bañistas.

El modelo indica que el efecto del número de bañistas sobre la concentración de *E. coli* fue altamente significativo entre temporadas y entre estaciones climáticas, y entre pozas (Tabla 16). Así mismo, se observa un efecto significativo entre la interacción de estos factores; temporadas con estaciones climáticas y de temporadas con pozas (Tabla 16).

Tabla 16. Resumen del modelo lineal mixto desarrollado para la concentración de *E. coli* en relación al número de usuarios por temporada (alta y baja) y estación climática (seca y lluviosa) en las pozas seleccionadas (A – D) del balneario Piscinas Naturales de Pindal. La temporada, la estación y pozas fueron consideradas como factores fijos. El día del muestreo fue designado como factor aleatorio.

Fuente de variación	numDF	denDF	F	p
(Intercept)	1	55	266.9	<0.0001
Usuarios	1	55	55.3	<0.0001
Temporada	1	55	25.1	<0.0001
Estación	1	55	9.2	0.0036
Pozas	3	55	29.1	<0.0001
Usuarios x Temporada	1	55	2.2	0.1399
Usuarios x Estación	1	55	0.8	0.3649
Usuarios x Pozas	2	55	0.1	0.9465
Temporada x Estación	1	55	8.3	0.0053
Temporada x Pozas	3	55	3.2	0.0294
Estación x Pozas	3	55	1.7	0.1751
Usuarios x Temporada x Estación	1	55	0.4	0.5291
Usuarios x Temporada x Pozas	2	55	0.1	0.9306
Usuarios x Estación x Pozas	1	55	0.8	0.3594
Temporada x Estación x Pozas	3	55	1.1	0.3395
Usuarios x Temporada x Estación x Pozas	3	55	0.1	0.9821

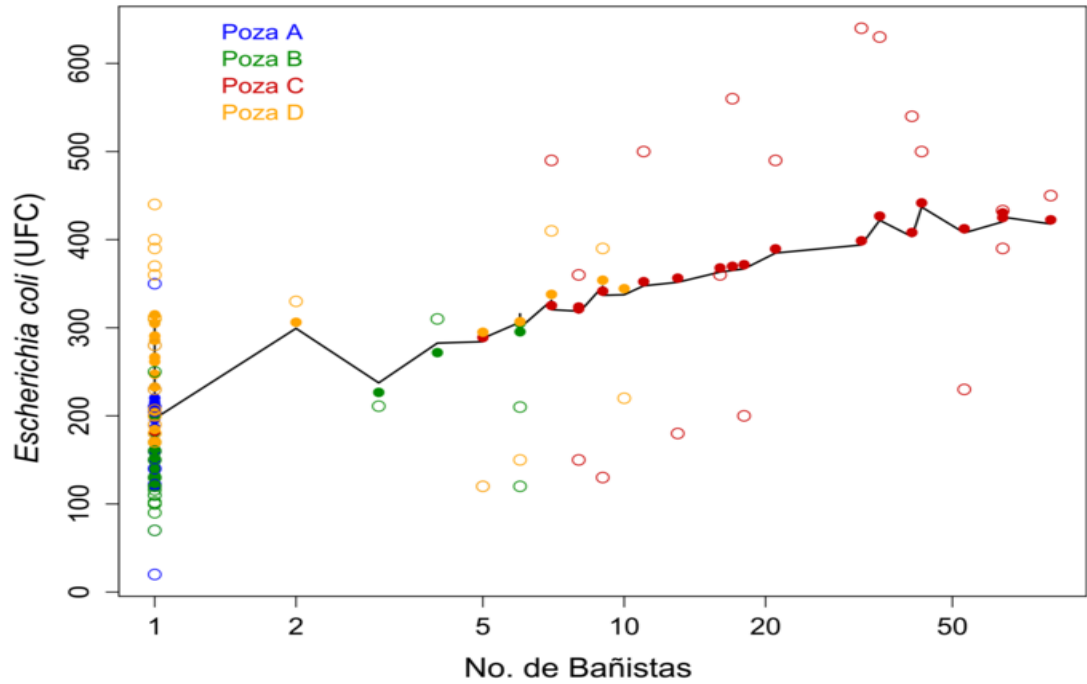


Figura 22. Concentración de unidades formadoras de colonias de *E. coli* en relación al número de bañistas observados en las pozas seleccionadas en el balneario Piscinas Naturales de Pindal. Los círculos abiertos corresponden a los valores observados en el muestreo

La Figura 22, demuestra que a mayor número de bañistas, mayor es la concentración de *E. coli* en el agua del balneario. Particularmente, la poza C (círculos rojos) siempre tuvo las más altas concentraciones *E. coli* y es la poza con mayor afluencia de usuarios. La poza D (círculos naranja), a continuación de la C, también presentó valores significativamente altos en la concentración de *E. coli*.

Tabla 17. Resumen de los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados en los sitios de muestreo

PROMEDIOS DE LOS SITIOS DE MUESTREO							
PARÁMETRO	UNIDAD	POZA A	POZA B	POZA C	POZA D	LMP	NORMATIVA
pH	unidades arbitrarias	8.5	8.5	8.5	8.7	6.5 – 8.5	Ecuador-USEPA
Conductancia	US/cm	174	174	197	202	1000	USEPA-Georgia
Temperatura	°C	21.4	22.4	23.3	23.8	32 °C	USEPA-Georgia
Turbidez	NTU	21.7	22.7	27.2	27.9	50	CANADA
S.T. D	mg/l	83.4	83.7	96.3	100.3	No definido	
Oxígeno disuelto	mg/l	6.4	6.4	6.2	6.2	no menor a 6 mg/L	Ecuador
% de Saturación de Oxígeno		81	82	79	81	no menor al 80 %	Ecuador
Fosfatos	mg/l	0.5	0.39	0.44	0.36	0.7	OMS
Nitratos	mg/l	0.2	0.3	0.2	0.2	50	USEPA
Coliformes totales	ufc/100 ml	3189	3134	3528	3443	1000	Ecuador-USEPA
coliformes fecales	ufc/100 ml	214	267	516	524	200	Ecuador-USEPA
<i>Escherichia coli</i>	ufc/100 ml	168	155	378	283	126	USEPA

*Los valores resaltados con color, corresponden a los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles según la Normativa.

Los estándares de calidad para agua de uso recreativo en los Estados Unidos recomienda realizar pruebas físico-químicos de parámetros básicos como: oxígeno disuelto, temperatura, conductividad y pH, además se debe incluir mediciones de claridad y nutrientes tales como fósforo y nitrógeno (USEPA, 1986). Por otro lado, la normativa ecuatoriana no incluye dentro de los criterios de calidad de agua para fines recreativos estos parámetros a excepción de oxígeno disuelto y pH.

Los criterios de calidad para aguas con fines recreativos en Ecuador contienen parámetros microbiológicos como coliformes fecales y totales, sin tomar en cuenta uno de los principales indicadores de contaminación fecal como es *E. coli* (Rossen, et al., 2008). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, establece un máximo para *E. coli* de 126 UFC/100 ml (USEPA, 1986).

CAPITULO VI

4.1. Discusión

En el presente estudio se determinó que parámetros microbiológicos como: coliformes fecales y *E. coli* se vieron afectados por la estación climática, demostrando un aumento de las concentraciones de estos parámetros durante la estación seca. Corroborando con lo mencionado; Hunter, Perkins, Tranter & Gunn (1999) registraron que durante los meses cálidos se incrementó el número de bacterias fecales. Las concentraciones de *E. coli* en nuestra investigación fueron bajas en la estación lluviosa, caso similar se observó en la investigación de Romero, García, Valdez & Vega (2010), lo cual explica que la baja concentración de *E. coli* en esta estación se debe a un efecto de dilución de contaminantes.

Los parámetros físicos-químicos que variaron por factores estacionales en nuestro estudio fueron: conductancia, turbidez, nitratos y fosfatos. Los valores mayores de conductancia se presentaron en la estación seca, apoyando estos resultados, Chalarca, Mejía, & Aguirre (2007) señalan un incremento en la conductancia durante la estación seca y explican que el incremento en las concentraciones de iones en esta época puede deberse al aumento en las tasas de descomposición de la materia orgánica. En lo que respecta a turbidez, se observó que los valores disminuyeron en estación seca, esto coincide con la investigación de Montoya, Acosta & Zuluaga (2013). Sin embargo, los valores de temperatura, pH, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno, no se vieron afectados por factores estacionales. Caso contrario se observó por Montoya, Acosta & Zuluaga (2013) en donde los niveles de parámetros como pH, sólidos totales y temperatura aumentaron en la estación seca. Así mismo Romero, García, Valdez & Vega (2010) reportaron niveles más bajos de oxígeno en la estación seca.

En lo que respecta al impacto de la actividad recreacional en la calidad físico-química del agua de nuestra investigación, se observó que en la temporada recreacional alta, aumentaron los niveles de conductancia y nitratos. Confirmando con el estudio de Díaz-Solano, Esteller & Garrido (2011), donde los niveles de conductancia fueron mayores a causa del incremento del número de bañistas.

En cuanto al impacto de la actividad recreacional en la calidad microbiológica del agua de nuestra investigación, se observó que las concentraciones de *E. coli* y coliformes fecales aumentaron en los sitios con mayor presencia de bañistas, dado que adicionan bacterias de *E. coli* al agua, a través de la piel, mucosa y sistema genital-urinario. Esto coincide con lo reportado por Teresa et al. (2009) comprobando que los niveles de organismos indicadores fecales (FIOS) se incrementan en presencia de usuarios recreacionales.

CONCLUSIONES

El balneario “Piscinas Naturales” presenta contaminación, especialmente en parámetros como: pH, coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli*, los cuales sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en los estándares nacionales e internacionales de calidad de agua para uso recreativo. No obstante, los valores de conductancia, temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, fosfatos y nitratos, cumplieron con el LMP establecido en las normativas.

En promedio los niveles de pH de la poza D (8.7), sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP), que según la normativa nacional e internacional de calidad de agua para fines recreativos, el rango debe estar entre 6.5 a 8.5.

En promedio los niveles de coliformes totales de las pozas A (3189 UFC), B (3134 UFC), C (3528 UFC) y D (3443 UFC), sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP), que según la normativa nacional e internacional de calidad de agua para fines recreativos, no debe ser mayor a 1000 UFC/100ml.

En promedio los niveles de coliformes fecales de las pozas A (214 UFC), B (267 UFC), C (516 UFC) y D (524 UFC), sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP), que según la normativa nacional e internacional de calidad de agua para fines recreativos, no debe ser mayor a 200 UFC/100ml

En promedio los niveles de *Escherichia coli* de las pozas A (168 UFC), B (155 UFC), C (378 UFC) y D (283 UFC), sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP), que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), no debe ser mayor a 126 UFC/100 ml.

Es fundamental mencionar que la calidad del agua se encuentra estrechamente relacionada a la estación climática. En el presente estudio se determinó que parámetros como: turbidez, conductancia, fosfatos, nitratos, coliformes fecales y *E. coli*, se vieron afectados por la estación climática, demostrando un aumento de las concentraciones de estos parámetros durante la estación seca, a excepción de los niveles de turbidez que aumentaron en la estación lluviosa.

El hecho de que la mitad de los 12 parámetros analizados en este estudio variaran estacionalmente, nos señala la importancia de monitorear estas variables en estaciones lluviosas y secas. Dichos estudio podría brindar información para que los administradores del balneario diseñen estrategias para mejorar la calidad de agua del balneario.

En lo que concierne a la variación espacial de la calidad del agua del balneario se demostró que los parámetros: pH, temperatura, conductancia, coliformes fecales y *E. coli* variaron gradualmente entre los sitios de muestreo (pozas A, B, C y D) presentándose las mayores concentraciones en la poza C debido a la mayor presencia de bañistas. De igual forma en la poza D, ya que es la poza receptora de las aguas usadas por la actividad recreacional.

El impacto de la actividad recreacional en la calidad físico-química del agua, se observó en la temporada recreacional alta, donde aumentaron los niveles de conductancia y nitratos. En cuanto al impacto de la actividad recreacional en la calidad microbiológica del agua, se observó que las concentraciones de *E. coli* y coliformes fecales aumentaron en los sitios con mayor presencia de bañistas, dado que adicionan bacterias de *E. coli* al agua, a través de la piel, mucosa y sistema genital-urinario.

La variación en la concentración de *E. coli* en el agua del balneario, está influenciada por el número de bañistas, siendo mayor en temporada alta (299 UFC) que en la temporada baja (203 UFC), debido a la mayor afluencia de bañistas. El número de bañistas es un factor importante para determinar los impactos del uso recreacional en la calidad del agua, ya que reducen el grado de sustentabilidad de los balnearios.

En nuestro país existe una normativa para calidad de agua de uso recreacional. Sin embargo, no hay un ente que lleve a cabo el control de la calidad de agua para la recreación y que compruebe el cumplimiento de dicha normativa. Esto se debe, a que las autoridades competentes: MAE y SENAGUA se enfocan principalmente en la calidad de agua para consumo humano y de riego, restando importancia a la calidad de agua para uso recreacional.

Otro problema para la gestión adecuada del recurso agua a nivel recreacional, es la falta de información (registro del número de balnearios naturales existentes en el Ecuador), y el debido monitoreo de la calidad de agua para que los bañistas tengan conocimiento de la situación de los balnearios naturales y su aptitud.

El deterioro de la calidad físico-química y microbiológica del agua del balneario "Piscinas Naturales" no solamente está siendo afectada por factores como la estación climática y la temporada recreacional, sino que también está siendo influenciada por las actividades agrícolas y ganaderas que representan el sustento económico del cantón Pindal, dichas actividades ha contribuido a la deforestación, lo que ha generado el aumento de la concentración de pH, STD, turbidez, fosfatos, nitratos y coliformes en general.

La información sobre la calidad del agua de la microcuenca Papalango es muy escasa, se sugiere ejecutar un estudio de calidad de agua en la parte alta de la microcuenca que permita determinar cuál es el estado actual de la misma e identificar si las fuentes de origen de los coliformes y de los contaminantes químicos provienen aguas arriba del balneario.

Estrategias de manejo para la Microcuenca Papalango

Se recomienda realizar un plan de manejo de la microcuenca, ya que las malas prácticas agrícolas y ganaderas están deteriorando la calidad del agua de la zona baja de la microcuenca.

A continuación mencionamos algunas estrategias para mejorar el estado actual de la Microcuenca:

- Proponer la creación de ordenanzas a nivel municipal local que garanticen la protección de las riveras y la cabecera de la microcuenca Papalango, donde se delimite su área de influencia.
- Impulsar la creación de abrevaderos que beneficien al sector ganadero evitando la invasión de las quebradas de la microcuenca.
- Reforestar con especies nativas las áreas con mayor degradación en la microcuenca, por ejemplo las riveras y cuenca alta.
- Capacitar a la población sobre incendios forestales y el cuidado de la vegetación de la microcuenca.
- Promover la incorporación de la comunidad, en general, dentro del proceso conservacionista de manera activa.
- Sugerir la implementación en el TULSMA, indicadores de contaminación fecal como el caso de *Escherichia coli* indispensables para la obtención de resultados con mayor confiabilidad dentro de la Normativa de Calidad de Agua para Fines Recreativos.
- Proponer a las autoridades encargadas de la gestión del agua en el cantón, el monitoreo frecuente y la incorporación de los parámetros establecidos en la Normativa de Calidad de agua para fines recreacionales, con el afán de mejorar la calidad de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

- Arco, I. (2005). Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación del calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles. Copán, Honduras.
- Bagoon, D.S., Markand, S., Otero, E., Perry, G., & Ramsubaugh, A. (2010). Assessment of non-point sources of fecal pollution in coastal waters of Puerto Rico and Trinidad. *Marine Pollution Bulletin*, 60:1117–1121.
- Berry, M. (2000). The development of informal settlements and their impact on the vegetation and rivers in the coastal zone of the South-Eastern Cape. Port Elizabeth: university of port Elizabeth, philosophy doctor thesis.
- Bezuidenhout, C., Mthembu, N., Puckree, T., & Lin, J. (2002). Microbiological evaluation of the Mhlathuze River, KwaZulu-Natal (RSA).
- Blancas, C., & Hervás, M. (2001). Manual de salud ambiental. Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre salud. Consultada el 22 de abril del 2015, disponible en:http://www.osman.es/contenido/divulgacion/guia_nitratos.pdf.
- Blood, D., & Henderson, J. (1969). *Medicina veterinaria*, 3ª. Cd. Interamericana, México, D.F.
- Brooks, KN; Gregersen, H., Thames., J. (1991). Hydrology and the management of watershed. Iowa, USA. 392 p.
- Burton, G., Gunnison, D., & Lanza, G. (1987). Survival of Pathogenic Bacteria in Various Freshwater Sediments. *Applied and Environmental Microbiology*. 53 (4). 633-638.
- Cabrera, H., Garcés, M., & Paredes, P. (2012). Producción de aguas servidas, tratamiento y uso en el Ecuador. Proyecto de desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura. FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID.
- California Government. (1994). The California Water Plan Update. *Bulletin*, 160-93.
- Calle, J. (2012). Criterios de la calidad del agua y límites máximos permisibles en Ecuador. AQUATEST. Quito-Ecuador.
- Carillo, M., Estrada, E., & Hazen, T. (1985). Survival and enumeration of fecal indicator *Bifidobacterium adolescentis* and *E. coli* in tropical forest watershed. *Appl. Environ. Microbiol.* 50, 468-476.

- Carrillo, E.M, & Lozano, A.M. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Castelán, C. (2003). El recurso hídrico en México: Análisis de la situación actual y perspectivas futuras. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A.C., Miguel Ángel Porrúa, The Nippon Foundation, México, D.F.
- CEC.(1976).Council of the European Communities Directive of 8th December 1975 concerning the quality of bathing water (76/160/EEC) Off. J. Eur. Commun., L31 (1976), pp. 1–7.
- Chalarca, D., Mejía, N., & Aguirre, J. (2007). Aproximación a la Determinación del Impacto de los Vertimientos de las Aguas Residuales Domésticas del Municipio de Ayapel, sobre la Calidad del Agua de la Ciénaga. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, ISSN. 40, 0120-6230.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (2011). Capítulo 3- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal. Sección Primera, Naturaleza jurídica, sede y funciones, artículo 55.
- Colmenares, M., Correia de Soto, A., & De Sousa, C. (2008). Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica en piscinas del estado de Carabobo, Venezuela. Boletín de Malariología y Salud Ambiental 48 (1): 73–82.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2006) .Plan de electrificación del Ecuador 2006-2015. Quito: CONELEC.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2002). Gestión de los recursos hídricos del Ecuador, políticas y estrategias: informe ejecutivo. Quito: CNRH.
- Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2006). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos. Visión general sobre el marco jurídico, institucionalidad, normatividad, diagnóstico y propuestas relacionadas con los recursos hídricos del Ecuador, CNRH, Secretaría General, Quito.
- Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), Corporación Autónoma Regional de Risalda (CARDER), Corporación Autónoma Regional de Valle del Cauca (CVC), Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales(IDEAM) & Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ). (2006). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río la Vieja, Diagnóstico y prospectiva. Ecuador, 72 p.

- Degremont. (1979). Manual de Técnicas del Agua. 4ta. Edición Grafo S.A. Bilbao, p. 896 -1004.
- Del Pilar, M., Ávila, S., Mónica, S., & Gómez, A.C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Nova - Publicación Científica, 3(4):1794-2470.
- Diaz-Solano, B., Esteller, M., & Garrido, S. (2011). Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. Hidrobiológica, México, 21 (1), 49-62.
- Doménech-Sánchez, A., Olea, F., & Berrocal, C.I. (2008). Infecciones Relacionadas con las Aguas de Recreo, Enferm. Infecc. Microbiol. Clin. , 26(13), 32-37.
- Dufour, A.P. (1984). Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters. EPA 600/1-84-004, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268.
- Elmir, S., Wright, M., Abdelzaher, A., Solo-Gabriele, H., Fleming, L., Miller, G., Rybolowik, M., Shih, M., Pillaid, S., Cooper, J.,... Quayle, E. (2007). Quantitative evaluation of bacteria released by bathers in a marine water. Water Research 41: 3 – 10.
- EPA. (1986). Bacteriological Water Quality Criteria for Marine and Fresh Recreational Waters. EPA-440/5-84-002. Cincinnati, OH:U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards
- EPA. (2012). Water Quality Standards Handbook: Second Edition. EPA-823-B-12-002; March 2012. Retrieved November 13, from <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/handbook/index.cfm>
- Galárraga-Sánchez, R. (2000). Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en el Ecuador. Naciones Unidas. Proyecto GWP SAMTAC, 88 p.
- Garret, L. (1994). The Coming Plague: Newly Emerging Diseases in a World out of Balance, Farrar, Straus and Groulx (ed), New York (USA), 58-78.
- Gelt, J. (2005). Water Recreation Makes Big Splash in Arizona. <http://www.ag.arizona.edu/AZWATER/arroyo/083recr.html>. 12 p.
- Gerber, P., & Menzi, H. (2005). Nitrogen losses from intensive livestock farming systems in South East Asia: a review of current trends and mitigation options. En Greenhouse gases and animal agriculture: an update. Proceedings of the 2nd International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, 20-24 de septiembre de, Zurich, Suiza.
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE PINDAL. (2013). Microcuenca Papalango, Información tomada de: <http://gadpindal.gob.ec/>

- Gobierno de Chile-Dirección General de Aguas & Universidad Austral de Chile. (2000).Catastro y Localización de Usos Públicos No Extractivos o Usos In Situ del Agua: 9-10. Chile, consultado el 18 de Abril del 2015, en: http://www.uach.cl/proforma/insitu/In_situ_s.PDF
- Gobierno Nacional de la República del Ecuador. (2008).Constitución de la República del Ecuador, Asamblea Constituyente. Sección Sexta Agua, artículo 411.
- Gonzales, A. (2011). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Programa de Maestría en Desarrollo Rural , 96 p.
- González, A.M., Paranhos, R., & Lutterbach, M.S. (2010). Relationships between fecal indicators and pathogenic microorganisms in a tropical lagoon in Rio de Janeiro, Brazil. *Environ Monit Assess*, 164B(1):207-219.
- González, M., Torres, T., & Chiroles, S. (2003). Calidad microbiológica de aguas costeras en climas tropicales, Cuba. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* (4), ISSN-1683-8904.
- Gross, W. (1972). Colibacillosis. En *Diseases of poultry*.Editado por Hofstad,M.S Iowa State University Press,pp.392-405.
- Haller, L., Amedegnato, E., Pote, J., & Wildi, W. (2009). Influence of freshwater sediment characteristics on persistence of fecal indicator bacteria. *Water Air Soil Pollut*. 203:217-27.
- Hunter, C., Perkins, J., Tranter, J., & Gunn, J. (1999). Agricultural land use effect on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire peak district in the U.K. *Water Res*. 33 (17). 3577–3586.
- Iguchi, A., Thomson, NR., Ogura, Y., Saunders, D., Ooka, T., Henderson, IR.,.... et al. (2009). Complete genome sequence and comparative genome analysis of enteropathogenic *Escherichia coli* O127:H6 strain E2348/69. *J Bacteriol*. Jan; 191(1):347-54. doi:10.1128/JB.01238-08.
- Ihaka R. & Gentleman R. (2015).R: a lenguaje for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5: 299-314.
- Lloret, P. (2000). Problemática de los Recursos Hídricos en el Ecuador. Foro de los Recursos Hídricos. CAMAREN. Quito, Ecuador.
- Loosmore, R. (1962). Citado por Sojka, W. J. (8).
- MAGAP. (2011). Plan nacional de riego y drenaje 2011-2026. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Subsecretaría de Riego y Drenaje.

- Marín, B., Vivas, L., Troncoso, W., Acosta, J., Vélez, A., Betancourt, J.,... et al. (2004). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano .Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional y Regional.
- Méndez, R.I., San Pedro, L., Castillo, E.R., & Vázquez, E.B. (2010). Modelación del tiempo de conservación de muestras biológicas de agua. *Rev Int Contam. Ambient.*, 26 (4):327-335.
- Mendoza, M. (1996). Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalo. Cuenca del río San Juan Turrualba, CR, CATIE.
- Ministerio de Turismo del Ecuador. (2010). Boletines estadísticos turísticos, 2008-2010.
- Montoya, Y., Acosta, Y., & Zuluaga, E.(2013). Evolución de la calidad del agua en el Río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia*, 33(1), 2357-3759.
- Naturaleza y Cultura Internacional. (2011). Caracterización biofísica de diez microcuencas abastecedoras de agua para los municipios de la Mancomunidad Bosque Seco. Loja, Ecuador. Recuperado de <http://www.naturalezaycultura.org/docs/Informe%20Mancomunidad.pdf>.
- Orrego, J. (2002). El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. Fundación Terram. Santiago, Chile.
- Ottoson, J., & Stenström, T. (2003). Fecal contamination of grey water and associated microbial risks. *Water Research*, 37, 645-655
- Phillip, P., Antoine, V., Cooper, L., Francis, E., Mangal, N., Seepersad, R., Ragoon, S., Ramsaran, L.,... Singh, A. Impact of recreation on recreational water quality of a small tropical stream. *Journal of Environmental Monitoring*. 2009, 11, 1192-1198.
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M., DebRoy, S., Sarkar, D., & the R Development Core Team. 2014. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-103.
- Plan Nacional del Agua. (2008). Secretaria Nacional del Agua-SENAGUA. Gobierno Nacional de la República del Ecuador.
- Plan Nacional del Buen Vivir. (2013). Objetivo 7- Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

- Pruss, A. (1998). Review of epidemiological study on health effects from exposure to recreational water. *Int. J. Epidemiol.*, 27: 1-9
- Romero, S., García, J., Valdez, B., & Vega, M. (2010). Calidad del agua para actividades recreativas del Río Hardy en la región fronteriza México- Estados Unidos. *Inf. Tecnológica*. 21 (5), 69-78.
- Rossen, A., Rodríguez, M., Ruibal, A., Fortunato, M., Bustamante, A., Ruiz, M.,... Angelaccio, C. (2008). Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el embalse San Roque .Córdoba, Argentina. *Hig Sanid Ambient*, 8:325-330.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2003). Desarrollo de Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente correspondientes a *Escherichia coli*/ *Enterococcus*. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Buenos Aires, Argentina.
- Smith, H., & Jones, J. (1963). Observation on the alimentary tract and its bacterial flora in healthy and diseased pigs. *J. Pathol. Bacteriol.* 86: 387-412.
- Stevenson, A.H. (1953). Studies of bathing water quality and health. *J. Am. Public Health Assoc.* 43:529.
- Teresa, D., Antoine, P., Cooper, V., Francis, L., Mangal, E., Seepersad, N., Ragoo, R., Ramsaran, S., Singh, L.,...Ramsubhag, A. (2009) .Impact of recreation on recreational water quality of a small tropical stream. *Journal of Environmental Monitoring*, 11, 1192-1198.
- Thomas Spiro, G., & Williamstigiani, M. (2004). *Química Ambiental*, Segunda Edición, Editorial Pearson Educación, Madrid, pág. 25-35 –115 –126-302.
- TULSMA. (2008). Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. LIBRO VI ANEXO 1. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
- U.S. National Library of Medicine. (2013). Medline Plus. Phosphorus in diet and side effects.Consultada el 22 de abril del 2015, disponible en: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002424.htm>.g
- US Environmental Protection Agency (USEPA). (1986). Ambient water quality criteria for bacteria.EPA 440/5-84-002.Washington.
- Valls, M. (1980). La legislación del agua en los países de la América del Sur. Estudio Legislativo No.19 Subdirección de Legislación Oficina Jurídica, FAO, 167 p.

- Vidal, M., López, A., Santoalla, M., & Valles, V. (2000). Factor analyses for the water resources contamination due to the use the livestock slurries as fertilizers. Agricultural water management. 45 p.
- Wagner. (1996). Contaminación causas y efectos Mexico, D F. Ediciones Garnika. 424 p.
- WHO. (1998). Guidelines for Safe Recreational-water Environments. Coastal and freshwater. World Health Organization, Draft for Consultation, 123 pp.
- WHO. (2006). World Health Organization. Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 2. Swimming pools and similar environments. 1.^a ed. Ginebra, Suiza, WHO Press.
- Wright, A., Kloppers, W., & Fricke, A. (1993). A Hydrological investigation of the stormwater runoff from the Khayelisha urban catchment in the false Bay area, south WesternCape. WRC Report No 323/1/93