



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE:

ARTES LIBERALES Y CIENCIAS AMBIENTALES

TÍTULO:

**ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL SECTOR URBANO DEL MALECON
DE MANTA, PROVINCIA DE MANABI.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE:**

Ingeniero en Gestión ambiental

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS MICHAEL MOLINA FLORES

NOMBRE DEL TUTOR: RENE OSCAR RODRIGUEZ GRIMON

SAMBORONDON, AGOSTO DE 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre Flor, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre Miguel Horacio, que a pesar de nuestra distancia, siempre supo estar de una manera u otra regalándome algún consejo para poder superarme a lo largo de mi vida universitaria. A mis hermanos Miguel y Fernando y sobre todo a mi sobrino el Yoco que con su compañía, bromas y palabras de aliento me impulsaron a seguir luchando para poder alcanzar mi meta. A mi novia Maria Jose por que te amo infinitamente y directa o indirectamente siempre apporto con su ayuda y su tiempo para que este proyecto sea posible. A mi director y a la vez tutor Rene, por todas sus enseñanzas a lo largo de la carrera.

RESUMEN

Se implementó el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) propuesto por Ramírez & Viña (1998), para evaluar la calidad del agua en la zona del malecón de Manta, Provincia de Manabí. El estudio se realizó durante el Trimestre Mayo a Junio de 2015; se tomaron muestras en los sitios: Puerto de Manta, Playa Murciélago y Playa Tarqui con 3 réplicas en cada punto. Además se evaluó el efecto de las fases lunares (Cuarto Menguante, Luna Llena y Luna Nueva) en el comportamiento de las variables de calidad de agua. Las variables de análisis fueron: oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno para 5 días, coliformes fecales, pH, demanda química de oxígeno y temperatura. Los resultados muestran que existe una considerable contaminación orgánica en el área de estudio evidenciado por los niveles de coliformes fecales que en el caso de la Playa Tarqui es la más contaminada siendo 1,77 veces más al de la playa Murciélago y 1,13 veces más al puerto de Manta. En fase de Luna Llena las condiciones de calidad de agua resultaron ser las más pobres en comparación con las otras fases. Los puntos monitoreados: Playa Murciélago, Puerto de Manta y Playa Tarqui según el índice ICOMO registran un rango de contaminación que va de media a alta y muy alta, con valores de 0.48, 0.75 y 0.85, respectivamente. En los 3 sitios el origen la contaminación se presume sea la actividad antropogénica producto de los desagües de origen doméstico e industrial pesquero aledañas a la zona.

Palabras clave: Índice de contaminación orgánica, Calidad del Agua, Indicadores ambientales, Puerto de Manta, Playa Murciélago, Playa Tarqui.

ABSTRACT

Organic pollution index was implemented (ICOMO) proposed by Ramirez & Viña (1998) to evaluate water quality on the boardwalk at Manta city, Manabí Province. The study was conducted during May-June 2015 quarter; the samples were taken from Puerto de Manta, Playa Murciélago, Playa Tarqui with 3 replicates at each site. In addition the effect of lunar phases (Quarter Moon, Full Moon and New Moon) was evaluated in the behavior of water quality variables. The variables used on this analysis were dissolved oxygen, biochemical oxygen demand for five days, fecal coliforms, pH, chemical oxygen demand and temperature. The results show that there is considerable organic pollution in the study area shown by fecal coliform levels. According to these results Playa Tarqui appears to be the most contaminated with 1, 77 times more than Playa Murciélago and 1.13 times more than the Puerto de Manta. Full moon phase water conditions quality were found the poorest results compared to the other phases. The monitored sites according to ICOMO recorded a range of pollution that goes from medium to very high. In all three cases it is presumed that the pollution is due to anthropogenic activity from drains, surrounding populations and industries around the shore.

Keywords: organic pollution index, water quality, environmental indicators, Port of Manta, Playa Murciélago, Playa Tarqui.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua de cuerpos naturales procede de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas y de la actividad industrial. El proceso de remediación natural es mediante descomposición por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores; y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que demandan oxígeno para transformar sustancias. El oxígeno disuelto (OD) en el agua también puede ser consumido por la fauna acuática, y lo hace a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática (Centro Virtual de Información del Agua, 2004). Además, las emisiones de nitrógeno producto de fertilizantes, residuos ganaderos, y de la combustión de combustibles fósiles en embarcaciones a motor; incide en la eutrofización marina a nivel del litoral costero que sobre-fertiliza el agua promoviendo el florecimiento de algas que en ausencia de luz y al descomponerse consumen el OD, afectando la abundancia y distribución de las poblaciones de peces e invertebrados bentónicos (Moreta, 2008).

En los últimos 50 años el interés por la investigación de la contaminación marina ha ido evolucionando notablemente; en los 60's la temática giraba en torno al impacto sobre la fauna marina de los metales pesados y los hidrocarburos derramados. En los 70's se incursionaba en la determinación de contaminación marina mediante organismos biológicos como indicadores; en los 80's la preocupación era el impacto de la eutrofización en el

ecosistema marino, durante la década de los 90`s la atención se enfocaba en la contaminación por eutrofización marina pero enfocándose más intensamente en los organoclorados y los cambios en el balance de los nutrientes; para inicios del siglo XXI los bioindicadores toman una mayor vigencia en cuanto a la determinación de contaminación marina para utilizarlos en biomonitoreos (Jankilevich, 2003). Los modelos computacionales predictivos de dispersión de contaminantes y el análisis del nitrógeno como limitante de nutrientes eutrofizadores en los ecosistemas marinos costeros se incorporan a la investigación en la presente década (Ronzano & Dapena, 2005). Actualmente la temática de la contaminación marina es abordada desde la prevención mediante propuestas de políticas ambientales, planes de manejo ambiental, y evaluación de riesgos en aguas marinas. Se establecen así mismo metodologías de análisis de línea base mediante el análisis de variables abióticas y bióticas indicadoras de contaminación. Por otro lado se analizan estrategias para la recuperación de ecosistemas marinos a través de medios no invasivos y técnicas basadas en bio-tratamientos como la bio, fico y fito remediación y el manejo de aguas residuales (Jiménez & Galizia , 2012).

En el cantón Manta se conjugan actividades dentro de su economía de tipo comercial, pesquera y turística; por varios años se viene comentando que estas actividades productivas no eran compatibles entre sí, porque entre ellas generaban situaciones que perjudicaban al desarrollo de la otra, y en conjunto agravan la situación de la calidad del agua superficial en la zona litoral (Comision Puerto de Manta, 2014). En el litoral de la ciudad de Manta existe preocupación por la contaminación orgánica, producto de las constantes descargas de aguas servidas sin tratamiento alguno, provocando contaminación ambiental en los diferentes medios: aire, tierra y agua (Marín, Chinga, Velásquez, González, & Zambrano, 2015). El

Puerto de Manta es el principal puerto pesquero de Ecuador (Lynch, 2007), y asociado a él se inserta una industria de procesamiento muy importante. Se conoce que los desechos del pescado tanto sangraza como en residuo sólido, influye en la persistencia de olores fétidos que ahuyentan a las gaviotas que habitaban la zona; las que han sido reemplazadas por aves de rapiña, roedores, perros y gatos callejeros; provocando que los bañistas eviten el sector sin que se tomen medidas correctivas (La Gente de Manabi, 2014)

Las zonas de litoral costero ecuatoriano cercano a zonas urbanas no están ajenas de los problemas ambientales generados por las lesivas actividades antropogénicas de tipo industrial, es por ello que la presente investigación tiene como objetivo estimar un índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) para aguas superficiales en tres puntos distribuidos a lo largo de aproximadamente siete kilómetros del litoral de la zona urbana en la ciudad de Manta. Con el desarrollo del presente artículo se pretende poner a consideración una herramienta para evaluar y monitorear la contaminación orgánica marina en zonas del litoral, problema que según la Empresa Publica Aguas Manta (2015), urge resolver.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Genéricamente la contaminación de las aguas sucede por la adición de sustancias o formas de energía que, directa o indirectamente, afectan negativamente a las características físicas y químicas de la masa de agua de tal manera que perjudica el uso de ésta para el ser humano. Es importante tener en cuenta que hay dos maneras en que las aguas contaminadas lleguen a un determinado cuerpo receptor (río, bahía, lago, estanque, laguna, embalse, acuífero subterráneo y el mar). La primera llamada fuente de contaminación puntual, como

su nombre lo indica es la contaminación localizada. Este es el caso, por ejemplo de la desembocadura de un río, efluente procedente de una estación de descargas de aguas residuales tratadas , domésticas, industriales o incluso en un receptor de aguas sin tratar, o aún en la salida en el mar de un emisario submarino. La segunda denominada la contaminación difusa, se lleva a cabo por la acción del agua de lluvia al conducir la contaminación del transporte en sus diferentes modalidades, repartidas en la superficie del suelo (urbano o no) de los cuerpos receptores. La contaminación difusa llega a los ríos, lagos, bahías, etc., distribuidos a lo largo de los bancos, no se centra en un solo lugar, como en el caso de la contaminación de fuente puntual (Bravo, Saldaña, Izurieta, & Mijangos, 2012)

El grado de contaminación del agua se mide por las variables: físico, químico y biológicas de las impurezas existentes, que son identificadas por los parámetros de calidad del agua (físicos, químicos y biológicos). En general, las características físicas se analizan desde el punto de vista de sólidos (suspendidos, coloidales y disueltos en el agua) y gases. Las características químicas en los aspectos de sustancias orgánicas e inorgánicas y las biológicas desde el punto de vista de la vida animal, vegetal y los microorganismos celulares (Carbajal & González, 2012).

En 2014 la Asamblea del Ecuador aprobó el llamado Código Integral Penal cuyo artículo 251 textualmente dice: “La persona que contraviniendo la normativa vigente, contamine, deseeque o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general, los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años (Constitución de la Republica del

Ecuador, 2014)”. Para el caso de la región aledaña al casco urbano, le Corresponde al Gobierno Autónomo descentralizado Manta (GADM) mediante la Unidad de Protección del Medio Ambiente (UPMA), la competencia de controlar y hacer cumplir la normativa.

Variables de Calidad de Agua

Los principales parámetros físicos de la calidad del agua son: color, turbidez, sabor, olor y temperatura. Los químicos son: pH (acidez y alcalinidad), dureza, metales (hierro y manganeso), cloruros, nutrientes (nitrógeno y fósforo), oxígeno disuelto. La materia orgánica: micro-contaminantes orgánicos e inorgánicos; micro-contaminantes, como metales pesados (zinc, cromo, cadmio, etc.). Por último, los parámetros biológicos se analizan desde el punto de vista indicador microorganismos: algas y bacterias (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

pH

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno de una solución. Las soluciones con una alta concentración de iones de hidrógeno tienen un pH bajo y soluciones con un bajas concentraciones de iones H^+ tienen un alto pH. El pH indica el grado de alcalinidad o acidez de una sustancia; se clasifica en una escala de 1,0 al 14,0. Al aumenta la acidez, el pH adquiere valores menores. El pH afecta a muchos procesos químicos y biológicos en el agua. La mayor variedad de animales acuáticos prefieren un rango de 6,5 a 8,0; un pH fuera de este rango se reduce la diversidad biológica del cuerpo de agua; un pH bajo también puede permitir la movilidad de elementos tóxicos y compuestos que pueden ser absorbidos por las plantas y los animales acuáticos de especies sensibles. Los cambios en la acidez puede ser causada por la deposición atmosférica (lluvia ácida), las rocas circundantes y ciertas descargas de aguas residuales. (EPA, 2013).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ expresa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica presente en el agua residual, por medio de los microorganismos presentes en ella, durante 5 días. Por lo tanto, es un método que mide la materia orgánica biodegradable y permite apreciar la carga orgánica biodegradable del agua y su poder autodepurador. Esta medida de 5 días viene dada por el tiempo en el que el agua del río Támesis tarda en llegar al mar desde que nace (Galeon, 2015). El DBO₅, es un estimativo de cantidad de oxígeno que ayuda a estabilizar la materia orgánica biodegradable por una población de microorganismos, es una variable importante para la elaboración de los índices de calidad de agua y que ha sido utilizado por muchos años al asignar una demanda de oxígeno a las aguas residuales (Barra, 2002; Ronzano & Dapena, 2005).

DQO

Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos. La eliminación de la materia orgánica se lleva a cabo mediante la sedimentación floculación-coagulación y filtración. Sin embargo, cuando la fuente de agua cruda tiene una carga orgánica y bacteriana muy grande caso en el que la DBO₅ puede alcanzar valores muy altos. Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar ausentes en las aguas para consumo humano (Barra, 2002).

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son bacterias que viven en los intestinos de los animales de sangre caliente (humanos, animales domésticos, animales de granja, y de la vida silvestre); las

bacterias coliformes fecales son un tipo de coliformes asociado con desechos humanos o animales; la *Escherichia coli* es parte del grupo de coliformes fecales. En sí mismos, los coliformes generalmente no representan un peligro para las personas o los animales, sino que indican la presencia de otras bacterias causantes de enfermedades como la fiebre tifoidea, la disentería, la hepatitis A y el cólera. Tanto los coliformes como las bacterias que causan enfermedades viven en el agua, pero a diferencia de los coliformes, las bacterias que causan enfermedades generalmente no sobreviven el tiempo suficiente en el agua, fuera del cuerpo de los animales, para ser detectados (EPA, 2014).

Oxígeno disuelto

En el sistema marino se produce y consume oxígeno. Las plantas y la atmósfera contribuyen con la producción de oxígeno. Los procesos de respiración de los animales marinos, la demanda biológica de oxígeno y las reacciones químicas consumen dicho oxígeno. El oxígeno se mide en su forma disuelta (como oxígeno disuelto). Si se consume más oxígeno del que se produce, los niveles de oxígeno disuelto declinan y algunos animales sensibles pueden alejarse, debilitarse o morir (EPA, 2014). El agua fría contiene más oxígeno que el agua cálida, y el agua tiene menos oxígeno en altitudes más altas. Cuando hay muchas bacterias en el agua, forman una sobrepoblación, usando el oxígeno disuelto en grandes cantidades. Numerosos estudios científicos sugieren que 4-5 mg/L de OD es la mínima cantidad que soportara una gran y diversa población de organismos acuáticos. El nivel de oxígeno disuelto en las buenas aguas de pesca generalmente tiene una media de 9.0 mg/L (Martínez-Porchas, Martínez-Córdova, & Ramos-Enríquez, 2009).

Índices para evaluar calidad del agua

Un índice de la calidad del agua proporciona un sólo número (como un grado) que expresa la calidad general del agua en un determinado lugar y tiempo en función de varios parámetros/variables medidas en el agua; el objetivo de un índice es convertir datos complejos de calidad de agua en información comprensible y utilizable por el público (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

La utilización de un índice de la calidad del agua es un tema polémico entre los científicos que analizan la calidad del agua, es por ello que existen reportados algunos de éstos índices, ver tabla 1. Un índice de la calidad del agua sobre la base de algunos parámetros ponderados como importantes, puede proporcionar un indicador simple y de fácil interpretación de la calidad del agua; le da al público una idea general de los posibles problemas con el agua en la región de estudio (BCN, 2005).

Tabla 1. Índices de calidad para agua superficial más utilizados en la actualidad:

Siglas	Descripción
ICA NSF	Índice de Calidad del Agua desarrollado por National Sanitation Foundation (NSF) en el año 1970.
ICA Dinius	Índice de Calidad del Agua desarrollado por National Sanitation Foundation (NSF) en 1987
ICA Rojas	Índice de Calidad del Agua propuesto por (Rojas, 1991)
WQI	Índice de National Sanitation Foundation propuesto en (Washington Government, 1992)
ICOMO	Índice de contaminación por materia orgánica desarrollado por (Ramírez & Viña, 1998)

Los índices de contaminación (ICO) son criterios de evaluación del nivel de contaminación del agua donde se miden aspectos importantes como: mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y nivel trófico. Estos índices definen el grado de contaminación de un cuerpo de agua mediante un número, que se encuentra entre 0 (muy bajo nivel de contaminación) y 1 (muy alto nivel de contaminación). Para la formulación de los ICO

Ramírez y Viña (1998), eligieron algunas variables que consideraron relevantes por su papel ecológico o porque en sí mismas conjugan simultáneamente el papel de las distintas variables, mostrando una correlación coherente en diferentes estudios; dichas variables fueron: conductividad, sólidos suspendidos, porcentaje de saturación de oxígeno, DBO₅, fósforo total, coliformes totales y pH. El ICOMO es una derivación de los ICO y busca determinar las cargas orgánicas contaminantes en un cuerpo de agua (Ramírez & Viña, 1998). Equivale a la relación entre diversos parámetros de contaminación como coliformes fecales, demanda biológica de oxígeno y oxígeno disuelto, ver tabla 2.

Tabla 2. Modelo matemático reductivo para el cálculo del ICOMO: índice de DBO₅ (I_{DBO5}), índice de Coliformes totales (I_{Coliformes}), índice de saturación de oxígeno (I_{Oxígeno %}); y el rango de clasificación de la calidad del agua.

Modelo matemático	Rango de clasificación
$\text{ICOMO} = (1/3) * (\text{I}_{\text{Oxígeno}\%} + \text{I}_{\text{DBO5}} + \text{I}_{\text{ColiformesT}})$ $* \text{I}_{\text{Oxígeno}\%} = 1 - 0,01 \text{ oxígeno } \%$ $* \text{I}_{\text{DBO}} = -0,5 + 0,7 \text{ Log}_{10} * \text{DBO}(\text{g} * \text{m}^{-3})$ $* \text{I}_{\text{ColiformesT}} = 1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \text{ColiformesT}(\text{NMP} * 100\text{mL})$	0,0-0,2 Contaminación muy baja
	0,2-0,4 Contaminación baja
	0,4-0,6 Contaminación media
	0,6-0,8 Contaminación alta
	0,8-1,0 Contaminación muy alta

DBO mayores a 30 mg*L tienen I_{DBO} = 1
 DBO menores a 2 mg*L tienen I_{DBO} = 0
 Coliformes totales mayores a 20.000 NMP* 100cm⁻³ tienen I_{COL.TOT} = 1
 Coliformes totales menores a 500 NMP* 100cm⁻³ tienen I_{COL.TOT} = 0
 Oxígeno (%) mayores a 100% tienen I_{Oxígeno%} = 0

Fuente: Ramírez *et al.*, (1997).

Índice de biodegradabilidad de materia orgánica en el agua

La biodegradabilidad es la propiedad que permite en la fracción orgánica de las aguas residuales la depuración por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción. Es precisamente la depuración de las aguas residuales y superficiales, lo que va regenerando la disponibilidad del recurso agua y a la vez evita la contaminación de las fuentes de aguas existentes tanto superficiales como subterráneas. Hay sustancias que no son o son lentamente biodegradables, lo que constituye una limitante para los procesos de tratamiento biológico

de aguas residuales, por lo que es necesario incorporar a las plantas depuradoras operaciones basadas en mecanismos físico - químicos, las que generalmente son de alto costo y a la vez siempre dan origen a un residuo que es de difícil disposición final (Osorio & Peña, 1997)

Para determinar el índice de biodegradabilidad de un efluente se debe tener en cuenta la relación dada por la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno Osorio & Peñas (1997), según se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DQO}{DBO5}$$

Valores cercanos a cero indican de que el agua es muy biodegradable, resultados por encima de cinco indican de que el material orgánico que contamina al agua es poco biodegradable (Osorio & Peñas, 1997).

La diversidad de índices da la posibilidad de evaluar situaciones específicas de contaminación, monitoreando solo las variables que conciernen a éste. Este hecho permite, por un lado, ahorro de costos y, por el otro, resultados concretos en relación al problema bajo estudio (Ramírez *et al.*, 1997).

Normativa ecuatoriana para calidad y uso de aguas

Las normativas buscan establecer un estándar de concentración de los diversos parámetros que se encuentran en los cuerpos de agua, en los suelos, sedimentos de los ríos, mares, aire, etc. Para regular los diferentes usos de los elementos descritos para salvaguardar a las personas en las diferentes ciudades de los diversos países (BCN, 2005). Al ser el agua un elemento vital en las actividades antropogénicas se ha procurado institucionalmente regular su preservación y uso. Ecuador no puede prescindir de los criterios de calidad del agua debido a la gran diversidad de biota acuática que ostenta, en tal caso existe actualmente el

Acuerdo del Ministerio de Ambiente 028 Tabla 3 denominado: Criterios de Calidad Admisibles para la preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios; Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos; y Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario y secundario (MAE, 2015).

METODOLOGÍA

El estudio de evaluación de la calidad de agua fue realizado en sitios aledaños al malecón de la ciudad de Manta, provincia de Manabí en Ecuador; entre los meses de mayo a junio del año 2015. Se extrajeron muestras de tres sitios que comprometen una longitud de litoral aproximada a siete kilómetros, la selección fue según el tipo de influencia antropogenica de tipo industrial pesquera (Playa de Tarqui, Puerto de Manta) y turística (Playa Murciélago), ver figura 1. Tanto la playa Tarqui como el puerto de Manta reciben descargas de aguas residuales procedentes del procesado de productos pesqueros (descabezado, eviscerado, troceado, pelado y lavado de pescado), las aguas aledañas al sector de la playa Murciélago reciben de manera directa la influencia de descargas domésticas no controladas y desechos propios de la actividad turística.

En cada sitio se estableció una estrategia de muestrear según la fase lunar (cuarto menguante, luna nueva y luna llena), debido a que durante las fases lunares existe una importante variación de marea (Maderos, 2009) y esto puede influir en el impacto de las descargas terrestres sobre la calidad del agua en el perfil marino-costero de la zona a estudiar. En todos los casos la toma de muestra se realizó durante la cota superior de la marea alta (pleamar).

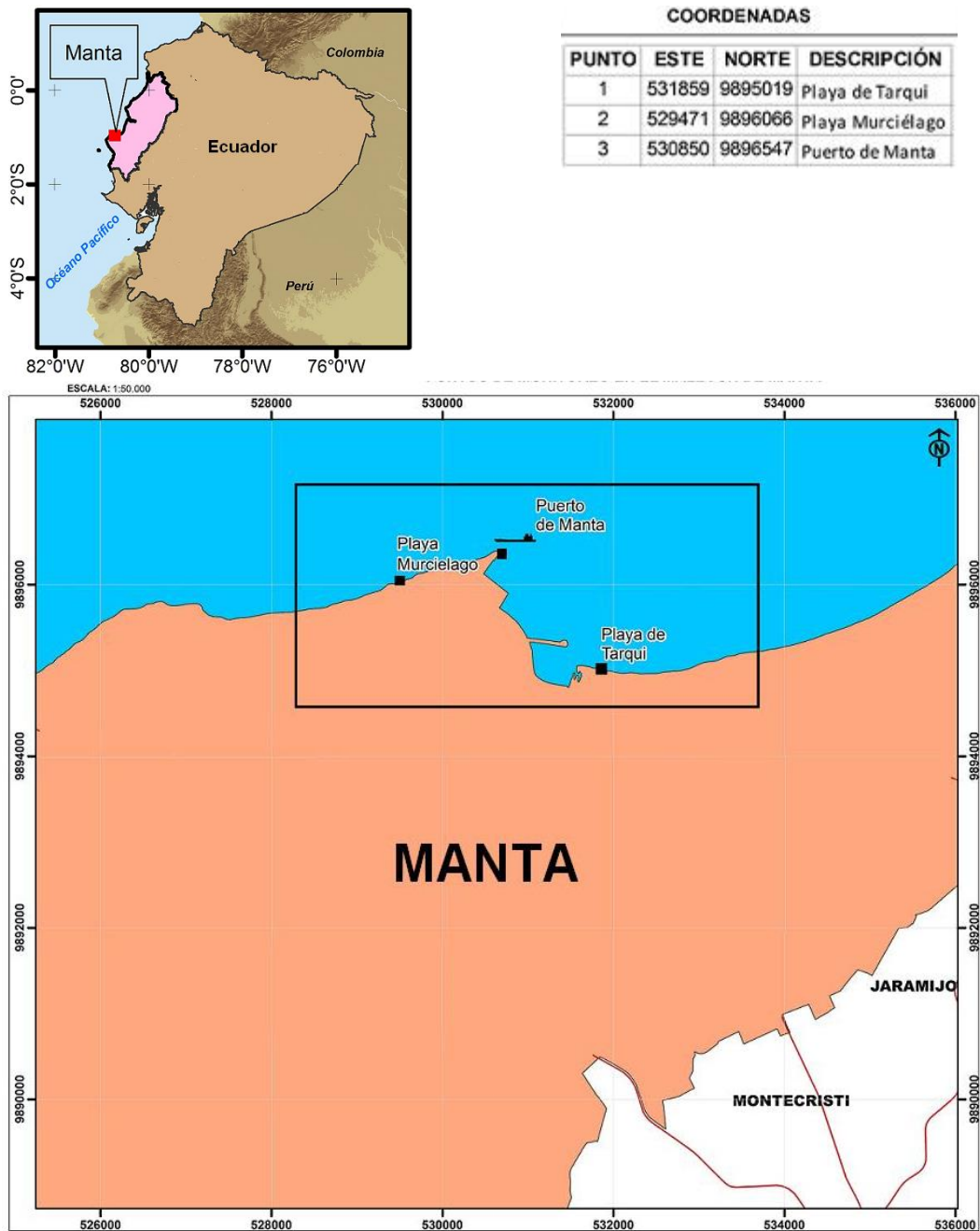


Figura 1. Coordenadas y localización de puntos de muestreo en zona del malecón de la ciudad de Manta, Manabí-Ecuador.

El procedimiento de muestreo consistió en coleccionar el agua superficial hasta una profundidad de 0,6 metros, donde la profundidad total de la columna de agua para cada sitio era no menor a 1,5 metros. Se utilizaron frascos plásticos con tapa rosca y volumen de un litro. Fueron estimadas seis variables para evaluar la calidad del agua: temperatura, pH,

DBO₅, DQO, Coliformes fecales y oxígeno disuelto. Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección (LABCESTTA), ver tabla 3; excepto temperatura y pH que fueron medidas “in situ” mediante un equipo multiparametro YSI. Las muestras para cada sitio fueron tomadas por triplicado. Una vez teniendo los datos del monitoreo el analisis se realizo con el programa SPSS y los graficos con el softtware R.

Tabla 3. Métodos de análisis empleados por LABCESTTA para la determinación de las variables involucradas en el cálculo del ICOMO.

Parámetro	Método/Norma
Oxígeno disuelto	Standar Methods No. 4500OG
Coliformes fecales	Standar Methods No. 9222D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	Standar Methods No. 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	Standar Methods No. 5220 D

Los resultados de las variables fueron comparados con la norma medioambiental para calidad de agua nacional inserta en el Acuerdo 028 del Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE) referida a la preservación de aguas marinas. Para una mayor confiabilidad de los datos obtenidos, se realizaron pruebas de repetitividad y reproducibilidad. Posterior de analizar la homogeneidad de las varianzas en los datos, se utilizó el análisis de varianza ANOVA para evaluar diferencias entre puntos (Playa Tarqui, Playa Murcielago y Puerto de Manta) y fases lunares (Luna Llena, Luna Nueva, Cuarto Menguante), mediante la prueba de comparación múltiple de medias Tukey. En todos los casos se asumió un error no mayor al 5% (P<0,05).

Para determinar el índice de biodegradabilidad se aplico la relación entre DQO y DBO según Osorio & Peñas (1997), los resultados son comparados con la escala siguiente: $DQO/DBO_5 = 0$ a 2,5 (muy biodegradable), >2,5 a 5 (degradable) y mayor a 5 (poco degradable).

Con los datos de las variables de Oxígeno disuelto, Coliformes fecales y DBO se calculó el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) a través del modelo presentado en la tabla 2, descrito por Ramírez *et al.* (1997). Reemplazando el valor de coliformes totales por coliformes fecales: $ICOMO = (1/3) * (I_{Oxígeno \%} + I_{DBO5} + I_{Coliformes\ fecales})$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta a continuación los resultados de las variables utilizadas para evaluar la calidad de agua y comparación en relación a la norma vigente, según el Acuerdo del Ministerio de Ambiente 028: “Criterios de Calidad Admisibles para la preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios”. En la zona estudiada compuesta por los sitios Puerto de Manta, Playa Murcielago y Playa de Taqui; la temperatura fluctuó entre 26,9 y 30,1 °C.

El oxígeno disuelto contrastado entre las fases luneras no mostro diferencias significativas, sin embargo entre los sitios se pudo notar que Playa Murcielago era el que mejores condiciones tenia con promedio 6,3 mg/L, lo cual represento 82,3% de saturación; valor superior pero no significativamente diferente con los registrados en los puntos Puerto de Manta y Playa de Tarqui con 3,8 y 3,3 mg/L, respectivamente. Sin embargo de manera global, en la zona del Malecón de Manta el oxígeno disuelto no alcanzó el valor fijado por la normativa para la protección de flora y fauna (5 mg/L). Vea la figura 2a.

Los resultados de pH para el agua dentro de la zona estudiada (Malecón de Manta) fluctuaron entre 7,2 y 8,3 unidades de pH. No existiendo diferencias significativas entre puntos ni entre fases lunares, destacando que en Luna Llena se registro en promedio el valor más alcalino de la zona, Vea figura 2b.

En el caso de coliformes fecales los resultados que se obtuvieron de los muestreos todos los sitios superan la normativa (200 NMP/100ml), sin mostrar entre ellos diferencias significativas, en cambio por fase lunar se detecto que en Luna Llena el valor de mediana registrado fue 24800 NMP/100ml, considerablemente superior al Luna Nueva con 1433 NMP/100ml y al de Cuarto Menguante 133 NMP/100ml; destacar que este último fue el único que no supero la normativa, vea figura 2c.

Los datos obtenidos de DBO muestran que por sitio todos los resultados sobrepasan el valores estipulados por la normativa vigente (120 mg/L), mientras que por fase lunar se puede observar claramente como en Luna Llena el valor obtenido es de 68 mg/L un resultado con una diferencia significativa ($p < 0.05$) a los registrados en Cuarto Menguante 617 mg/L y Luna Nueva 523mg/L. Vea figura 2d.

Así mismo, los valores obtenidos de DQO muestran mayor significancia en el muestreo realizado de acuerdo a la fase lunar, donde se puede apreciar que en Luna Llena se dio el más alto nivel de DQO 1383 mg/L, mientras que en Cuarto Menguante y Luna Nueva los valores registrados fueron 1287 y 1190 mg/L respectivamente. Vea figura 2e.

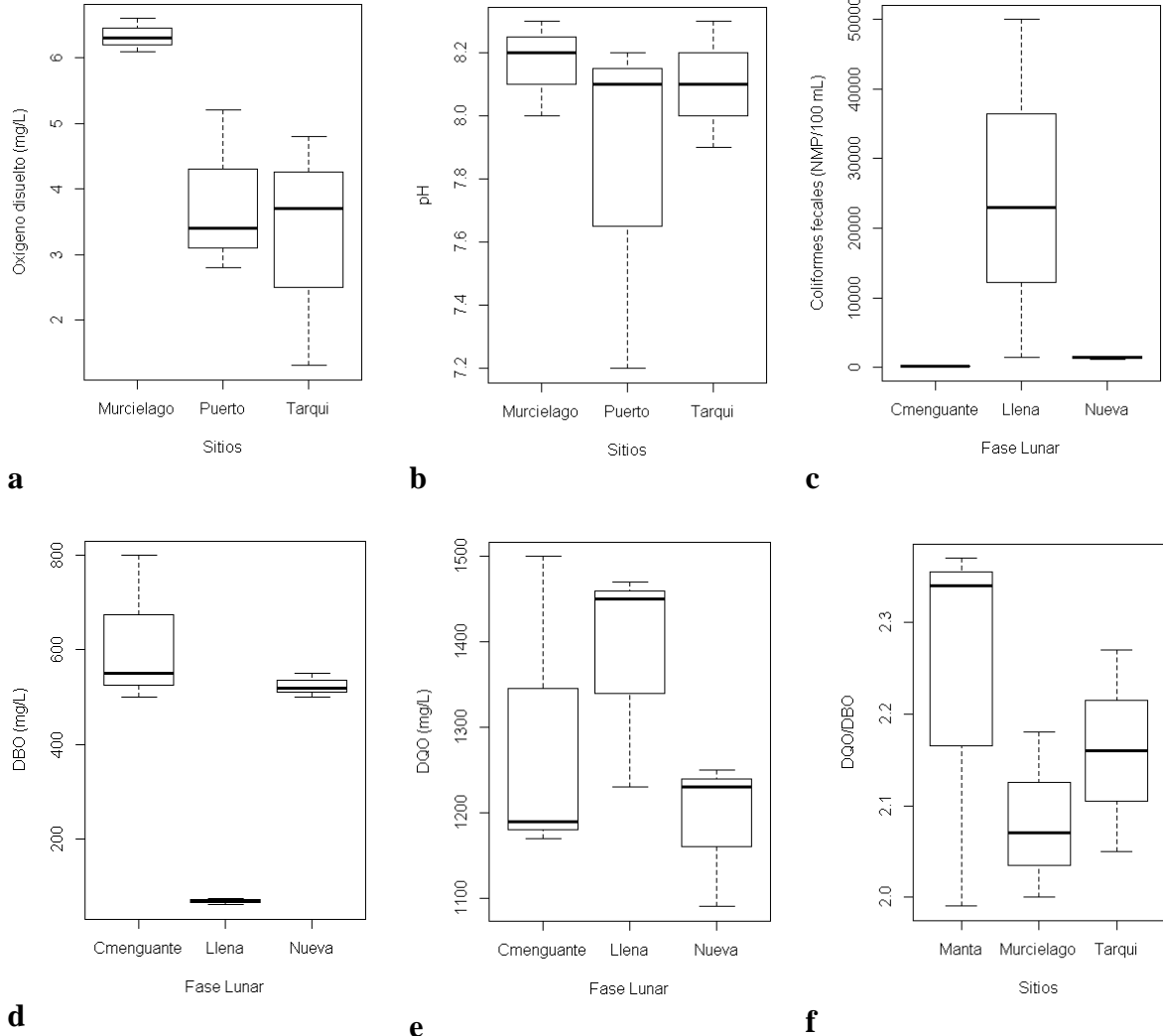


Figura 2. Variables de calidad del agua en tres sitios frente al malecón de Manta y en diferentes fases lunar: a (OD por sitio), b (pH por sitio), c (Coliformes Fecales por fase lunar), d (DBO₅ por fase lunar), e (DQO por fase lunar) y f (DQO/DBO por sitio).

Por último se realizó un análisis de biodegradabilidad para saber si la materia orgánica contenida en el agua que se encuentra en la zona “Malecón de Manta” puede paulatinamente mejorar la calidad mediante el efecto remediador natural de las bacterias. Se obtuvo en Playa Murcielago una relación de 2.2, en Puerto de Manta 2.1 y en Playa Tarqui 2.2; estos resultados indican que el contenido de materia orgánica presente en las aguas de los sitios aledaños al Malecón de Manta es perfectamente biodegradable, vea figura 2f.

Después de aplicar el ICOMO con los resultados obtenidos en el monitoreo se puede observar en la tabla 3, que la contaminación del malecón de Manta va de alta a muy alta, siendo la Playa Tarqui la que tiene mayor contaminación por materia orgánica, mostrando un valor de índice ICOMO de 0.85 que supera en 1.8 veces al de la Playa Murciélago y en 1.1 veces al Puerto de Manta, vea tabla 3.

Tabla 3 Resultados índice ICOMO para los sitios de Puerto de Manta, Playa Murciélago y Playa de Tarqui. Durante los meses de Mayo-Junio del 2015.

Punto	Playa Murciélago	Puerto de Manta	Playa Tarqui
ICOMO	0,48	0,75	0,85
Criterio	Contaminación media	Contaminación alta	Contaminación muy alta

Al analizar de manera integral los resultados de las variables de calidad del agua, resaltan los resultados de menor contaminación en el sitio ubicado en Playa Murciélago con los mayores valores de OD en el agua y menor concentración de coliformes fecales. Estos resultados se justifican toda vez que en el sitio de Playa Murciélago a diferencia de los otros existe más exposición al mar abierto, hay más recambio natural de agua, y que no hay descargas de efluentes industriales de tipo pesquera; en cambio para los sitios de Tarqui y Puerto de Manta las corrientes de agua procedentes del mar abierto están parcialmente bloqueadas por la acción de un rompeolas artificial que protege las instalaciones del Puerto de Manta, y adicionalmente a la mayor incidencia de efluentes industriales procedentes principalmente de la industria del procesamiento de productos pesqueros.

Por otro lado, el efecto de la fase lunar en la calidad del agua se hizo notar toda vez que en Luna Llena se registraron las mayores concentraciones en promedio de Coliformes fecales (24800 NMP/100 mL), y DQO (1383 mg/L), evidenciando que la contaminación por materia orgánica se incrementa por dicho efecto lunar. Se conoce de que en fase de Luna

Llena se experimentan las mayores fluctuaciones entre bajamar y pleamar (Mederos, 2009); y que en marea alta el agua puede arrastrar con parte de la contaminación superficial depositada en la superficie de la tierra que marca la frontera de la zona intermareal, ocasionando de que el agua sea propensa a hacer contacto con una mayor superficie y consecuente mayor carga de contaminante de tipo orgánica, fundamentalmente.

CONCLUSIONES:

Los resultados de las variables de calidad del agua para los sitios dentro de la zona del Malecón de Manta, muestran notable influencia negativa por las descargas industriales relacionadas al procesamiento de productos pesqueros y descargas domésticas en general. La contaminación orgánica es significativa, toda vez que el indicador “Coliformes fecales” (8789 NMP/mL) sobrepasó considerablemente el valor permisible indicado por la normativa (200 NMP/mL).

Se presentan los sitios de “Tarqui” y “Puerto de Manta” como los de mayor afección, mostrando niveles más deprimidos en las variables de calidad del agua investigada, y un índice de contaminación orgánica entre 0,6 y 0,7 que equivale a un agua altamente contaminada, según Ramírez y Viña (1998).

Según las fases lunares, contrastaron la fase de Luna Llena versus Cuarto Menguante como los periodos en donde se registraron condiciones de calidad de agua más diferentes. En luna Llena se midieron condiciones de alta contaminación por materia orgánica con valores de índice 0,7, mientras que en fase Cuarto Menguante 0,4, indicando una contaminación media por materia orgánica en el agua.

El uso del índice de contaminación orgánica propuesto por Ramírez *et al.* (1997), permitió optimizar los recursos invertidos en la presente investigación por cuanto las variables de

análisis requeridas: oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales se ajustaron a la realidad de las necesidades de información de un puerto pesquero-mercante y balneario turístico. El desarrollo de industria y turismo no deben ser conceptos discordantes sino complementarios.

Los resultados obtenidos en el cálculo del índice de biodegradabilidad muestran que el Malecón de Manta a pesar de tener los rangos de contaminación altos, existe una real posibilidad de biodegradabilidad natural, debido a que los valores registrados en Playa Murcielago 2,23, en Puerto de Manta 2,08 y en Playa Tarqui 2,16, están dentro de los niveles muy degradables de materia orgánica (entre 0 y 2.5), según Osorio & Peñas (1997).

Los resultados presentados en esta investigación se obtuvieron estableciendo 3 puntos de monitoreo a lo largo del Malecón de la ciudad de Manta lo cual posibilitó realizar una línea base acerca de la afectación de las diferentes coyunturas que impactan las aguas marinas de este importante puerto y playa en el Pacífico ecuatoriano de modo que los tomadores de decisiones puedan tener bases para la acción según criterios desde la academia.

RECOMENDACIONES:

- Continuar aplicando el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en estudios de monitoreos de calidad del agua. Comparar los resultados con el Índice de Calidad del Agua tradicional propuesto por Brown *et al.* (1970).
- Extender el estudio hacia otros puntos identificados como afectados por concepto de descargas industriales o domésticas en el litoral urbano de la ciudad de Manta.
- Controlar que todos los efluentes industriales hayan sido previamente tratados según la normativa, antes de ser descargados al cuerpo de agua natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Barra, L. (2002). *CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN*. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD DEL VALLE FACULTAD DE INGENIERÍAS ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL.
- BCN. (27 de Diciembre de 2005). *Water Quality Index*. Obtenido de http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_info.html
- Bravo, L., Saldaña, P., Izurieta, J., & Mijangos, M. (2012). *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. Mexico DF.
- Carbajal, Á., & González, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. In *Agua para la salud. pasado, presente y futuro*. (pp. 33-45). Madrid: CSIC.
- Centro Virtual de Información del Agua. (24 de 09 de 2004). *Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos*. Recuperado el 24 de 09 de 2015, de [agua.org.mx](http://www.agua.org.mx):
http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=3219:contaminacion-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos&catid=1291:saneamiento-basico&Itemid=100148
- Comision Puerto de Manta. (Julio de 2014). *Puerto de Manta*. Obtenido de Comisión Especial Interinstitucional del Proyecto Puerto de Transferencia Internacional de Carga del Ecuador en el Puerto de Manta:
<http://www.comisionpuertodemanta.gob.ec/interes-por-impacto-ambiental-del-puerto-de-manta/>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2014). *Código Orgánico Integral Penal*. Quito: Asamblea Nacional del Ecuador.
- EPA. (13 de Febrero de 2013). *water.epa.gov*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2014, de <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/tcr/basicinformation.cfm>

- EPA. (23 de Junio de 2015). *Beach Act*. Obtenido de <http://www2.epa.gov/beach-tech/about-beach-act>
- EPA. (9 de Octubre de 2014). *BOD5 and DO*. Obtenido de <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm>
- EPA. (9 de Octubre de 2014). *Fecal Coliform*. Obtenido de <http://www.epa.gov/katrina/fecal.html>
- EPAM. (7 de Enero de 2015). *Solución Ambiental*. Obtenido de <http://www.epam.gob.ec/colector-minimizara-niveles-de-contaminacion-en-el-murcielago/>
- GADM Manta. (24 de Marzo de 2015). *Trabajos de EPAM*. Obtenido de <http://www.manta.gob.ec/index.php/noticias/item/723-los-trabajos-mitigara-en-gran-medida-la-contaminacion-de-las-playas-de-tarqui-y-sus-alrededores>
- Galeon. (2015 йил 21-Agosto). <http://www.galeon.com/procalidadambiental/>. Retrieved 2015 йил 21-Agosto from www.galeon.com/procalidadambiental/Articulo.../anal_aguas_DBO.doc
- Jankilevich, S. (2003). *Las cumbres mundiales sobre el ambiente Estocolmo, Río y Johannesburgo 30 años de Historia Ambiental*. Buenos Aires: Universidad de Belgrano.
- Jiménez, B., & Galizia, J. (2012). *DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS*. Mexico DF: IANAS.
- La Gente de Manabi. (09 de Agosto de 2014). Ambiente que denigra y avergüenza a Manta. *La Gente de Manabi*, 1.
- Lynch, G. (2007). *Auditoría ambiental al proyecto de control de la contaminación del río Manta y su área de influencia de la empresa de agua potable y alcantarillado de Manta, EAPAM*. Manta: Dirección de Auditoría de Proyectos y Ambiente de Manta.

- Maderos, L. (31 de Marzo de 2009). *Las Mareas*. Recuperado el 1 de Septiembre de 2015, de Rodamedia: <http://www.rodamedia.com>
- MAE. (2014). *Ambiente*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2014, de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
- MAE. (2015). *LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA*. Quito, Pichincha, Ecuador: Tribunal Constitucional de la Republica Del Ecuador.
- Marín, j., Chinga, C., Velásquez, A., González, P., & Zambrano, L. (13 de 02 de 2015). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA PROCESADORA DE PESCADO EN REACTORES ANAERÓBICOS DISCONTINUOS. *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA* , 27-42.
- Martínez-Porchas, M., Martínez-Córdova, ., L., & Ramos-Enríquez, R. (2009). Dinámica del crecimiento de peces y crustáceos. *Revista Electrónica de Veterinaria* , 1-16.
- Moreta, J. (2008). *LA EUTROFIZACIÓN DE LOS LAGOS Y SUS CONSECUENCIAS*. Ibarra: i UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD ESCUELA DE NUTRICIÓN Y SALUD COMUNITARIA TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL.
- Osorio, P., & Peña, D. (1997). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Valparaiso: Universidad Tec. Fed. Sta María.
- Patiño, P., Holguín, J., Barba, L., Cruz, C., Ramírez, C., Duque, A., & Baena, L. (2013). *Metodología para la Adaptacion de un Indice de Calidad de Agua a las Condiciones Medio Ambientales del Rio Cauca en el Tramo Salvajina-La Virginia*. Cali: Universidad del Valle.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogota: a Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. *CUATRO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTINENTALES. FORMULACIONES Y APLICACIÓN*. Bucaramanga: Instituto Colombiano Del Petroleo.
- Rojas, O. (1991). *Indices de Calidad de Agua en Fuentes de Captacion*. Cali: ACODAL.
- Ronzano, E., & Dapena, J. (2005). *Medida de la Contaminación Orgánica*. Univerddidad de Salamanca , Centro de Investigacion y Desarrollo Tecnologico del Agua . Salamanca: EDAR.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (05 de Octubre de 2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* .
- Washington Government. (1992). WQI. *Ecology Report* , 1-16.