



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Determinación de un índice de calidad de agua en el lago
Macagua**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Taisir Eduardo Ahissami Hartman

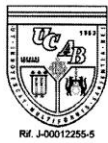
Cesar Jesus Castro Velasquez

TUTOR

Ing. Antonio Seijas Botana

FECHA

Marzo, 2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
 Prolongación Av. Atlántico. Puerto Ordaz
 Telf.: (0286) 600-02-36 Fax: (0286) 600-02-36

Período: 201825
 NRC: 27828

Facultad de Ingeniería
 Escuela de Ingeniería Civil


ACTA DE TRABAJO DE GRADO


Ciudad Guayana, 20 de Abril de 2018

Los suscritos profesores: Antonio Seijas Botana, Florencia Cordero Rivero y Adolia Rosales de Maldonado, integrantes del jurado calificador del Trabajo de Grado intitulado "Determinación de un índice de calidad del agua en el Lago Macagua", elaborado por el bachiller Ahissami Hartman, Taisir Eduardo, cédula de identidad N° 23503027, para optar al Título de Ingeniero Civil, certifican que, habiendo examinado dicho trabajo, consideramos que es merecedor de la calificación de veinte (20) puntos.

Observaciones: Mención Publicación


 Florencia Cordero Rivero
 Jurado


 Antonio Seijas Botana
 Tutor(a)




 Adolia Rosales de Maldonado
 Jurado

Secretaría General
 c.c. Escuela



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
 Prolongación Av. Atlántico. Puerto Ordaz
 Telf.: (0286) 600-02-36 Fax (0286) 600-02-36

Período: 201825
 NRC: 27828


Facultad de Ingeniería
 Escuela de Ingeniería Civil

ACTA DE TRABAJO DE GRADO


Ciudad Guayana, 20 de Abril de 2018

Los suscritos profesores: Antonio Seijas Botana, Florencia Cordero Rivero y Adolia Rosales de Maldonado, integrantes del jurado calificador del Trabajo de Grado intitulado "Determinación de un índice de calidad del agua en el Lago Macagua", elaborado por el bachiller Castro Velasquez, Cesar Jesus, cédula de identidad N° 26158774, para optar al Título de Ingeniero Civil, certifican que, habiendo examinado dicho trabajo, consideramos que es merecedor de la calificación de veinte (20) puntos.


Observaciones: MENTIÓN PUBLICACIÓN



 Florencia Cordero Rivero
 Jurado



 Antonio Seijas Botana
 Tutor(a)





 Adolia Rosales de Maldonado
 Jurado

Secretaría General
 c.c. Escuela

Dedicatoria

A Dios y a la Virgencita por darme esa fuerza constante de seguir adelante y luchar por mis objetivos, por darme salud e iluminar mi camino siempre.

A mis padres **Taysir Ahissami** y **Shoyna Hartman** por ser el pilar de mi vida, por los sacrificios y esfuerzos constantes que han hecho para formarme e inculcarme valores, por ser esos dignos ejemplos para mí día a día. Les dedico esta tesis, porque sin ustedes no lo hubiera logrado...

A **Rhina Finco** por ser esa persona especial e incondicional en mi vida, que me llena de paz y está para mí siempre que la necesito, por ser esa mujer que me regocija, me alienta a seguir adelante y luchar por mis sueños. Te amo inmenso preciosa.

Al **Ing. Antonio Seijas**, porque más que un tutor es un amigo. Por compartir siempre su sabiduría y sus consejos, por su disposición siempre y el apoyo incondicional que me brindó a lo largo de mi carrera.

Taysir E. Ahissami H.

Dedicatoria

Primeramente **a Dios** por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre **Hirving Velásquez** por haberme apoyado en todo momento, por sus esfuerzos para sacarnos adelante y ser el pilar fundamental de la familia, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre **Cesar Castro** por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

Al **Ing. Antonio Seijas Botana** por su gran apoyo y motivación para la culminación de esta tesis y de nuestros estudios profesionales. Un gran mentor para todos sus alumnos, más que un profesor y tutor es un buen amigo.

Cesar J. Castro V.

Agradecimiento

A Dios y a la Virgen que me cuidan y protegen de las adversidades, me guían por el camino correcto, y me dan la fuerza. Que necesito para seguir luchando por mis metas.

A mi papá Taysir Ahissami, por ser mi guía en esta carrera, siendo mi ejemplo a seguir y enseñándome a que debo siempre superarme, luchar por ser mejor cada día y no hacer las cosas por hacer, sino hacerlas bien. Por inculcarme muchas enseñanzas que han marcado mi vida como el “has el bien sin mirar a quien” y por apoyarme en todo momento desde que empecé la carrera

A mi madre hermosa Shoyna Hartman, por ser la mejor mamá del mundo y luchar siempre por darnos lo mejor a mí y a mi hermano, por velar por nuestra salud y bienestar siempre, por darme esa confianza plena y el infinito amor de madre. Como tu ninguna... Te amo mamá.

A Rhina Finco, por estar ahí para mí en todo momento, por ser ese aliento que me falta cuando lo necesito, por compartir maravillosos momentos conmigo, por motivarme a ser el mejor ingeniero, luchar por cumplir todas mis metas y por amarme tanto. Mil gracias mi pajarita, Te amo.

A Antonio Seijas, por ser el mejor profesor en la carrera, gran amigo y persona, que estuvo siempre a la disposición de nosotros para realizar este trabajo de grado.

A **Luis Rangel Merkt**, por ser mi amigo y compañero de pesca, por su disposición a la hora de realizar las muestras en el embalse Macagua.

A la profesora **Adolia** por su carisma y apoyo siempre que la necesitamos, por ser incondicional.

A mi compañero y gran amigo Cesar Castro, por luchar junto conmigo por sacar adelante este trabajo de grado, por las horas invertidas en el desarrollo del mismo y las largas noches redactando.

Taisir E. Ahissami H.

Agradecimiento

A **Dios** por darme mucha salud y brindarme la oportunidad de cumplir todas las metas que me he propuesto.

A mi madre **Hirving Velásquez**, por todos sus esfuerzos, que han logrado que yo salga adelante, por ser incondicional, estar siempre allí cuando lo necesito y no dejar que recaiga en esos momentos difíciles.

A **Cesar Castro**, por estar siempre allí presente, ser un buen padre, un ejemplo a seguir y parte de lo que soy es por él, gracias por el amor que me has dado.

A la familia **Ahissami Hartman**, por acogerme como si fuera parte de su familia y por todo su apoyo para la realización de este trabajo especial de grado, sin ellos no hubiese sido posible la culminación de esta.

A **Rosani Gonzalez**, por ser como una madre, por apoyarme siempre que necesito de una ayuda y todos esos consejos que han ayudado a que elija el correcto camino.

A **Ana Battikha**, por ser más que una amiga, una hermana que me ha dado la vida y sé que siempre puedo contar con ella y de su apoyo incondicional.

A **Paola Caruso**, por ser tan especial, por todos esos logros que cumplimos juntos y sé que siempre puedo contar con su incondicional apoyo y a su familia porque fueron parte fundamental para que llegara a este punto de la carrera e igualmente permitirme formar parte de su familia.

A nuestro profesor, tutor y amigo **Antonio Seijas**, por su gran ayuda para que fuera posible la culminación de este trabajo especial de grado y todos los conocimientos que implanta en nosotros.

A **Luis Rangel**, por su apoyo logístico en la toma de las muestras y sus conocimientos en navegación del embalse, sin duda una gran ayuda para que fuera posible la realización de este trabajo.

A la profesora **Adolia**, por su ayuda en la metodología de este trabajo, así como también su disposición para los estudiantes siempre.

A mi compañero de tesis y gran amigo **Taisir Ahissami**, por el trabajo arduo y todas esas largas horas que pasamos sentados en la computadora para que fuera posible la realización de este trabajo.

Cesar J. Castro V.

Índice de contenido

	pp
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iv
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen.....	xii
Introducción.....	13
Capítulo I: El problema.....	16
Planteamiento del problema.....	16
Objetivos.....	17
Justificación.....	18
Alcance y limitación.....	19
Capítulo II: Marco Teórico.....	21
Antecedentes.....	21
Bases Teóricas.....	22
Bases Legales.....	44
Terminología básica.....	46
Capítulo III: Marco Metodológico.....	50
Tipo de investigación.....	50
Diseño de la investigación.....	50
Sistema de variables.....	51
Técnicas e Instrumentos de recolección de información.....	51
Procedimiento.....	52
Capítulo IV: Presentación y análisis de resultados.....	53

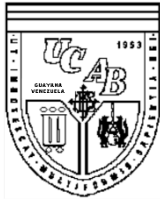
Conclusiones y recomendaciones	72
Referencias	77
Anexos	79

Índice de Tablas

Tabla	pp
1. Coordenadas de ubicación de las estaciones de muestreo en el embalse de Macagua.....	26
2. Fórmulas para el Cálculo de Índices de Calidad de Agua a partir de subíndices	30
3. Pesos Relativos aplicados para el cálculo del ICA- NSF.....	31
4. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF.....	37
5. Clasificación de la calidad del agua para múltiples usos.....	38
6. Variables a utilizar en el ICA.....	56
7. Resultados de las variables microbiológicas (Toma de muestra 1).....	56
8. Resultados de las variables microbiológicas (toma de muestra 2).....	57
9. Ponderación asignada a cada estación dependiendo de su importancia.....	59
10. Resultados microbiológicos de la margen izquierda del embalse Macagua.....	59
11. Resultados fisicoquímicos de las estaciones embalse Macagua (Rinconote, Morocure, Toro Muerto y La Orchila) 2009.....	59
12 Pesos relativos adaptados para el cálculo del ICA- NSF en el embalse Macagua.....	60

Índice de Figuras

Figura	pp
1. Vista aérea del Embalse de Macagua.....	23
2. Ubicación de las estaciones de muestreo en el embalse Macagua.....	25
3. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5.....	32
4. Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del OD.....	33
5. Valoración de la calidad de agua en función del pH.....	33
6. Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de la Turbiedad..	34
7. Valoración de la calidad de agua en función de los Fosfatos.....	34
8. Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos.....	35
9. Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de Temperatura..	35
10. Valoración de la calidad de agua en función de los Coliformes Fecales.....	36
11. Valoración de la calidad de agua en función de los SDT.....	36
12. Determinación del subíndice en función de los SDT.....	61
13. Determinación del subíndice en función del pH.....	62
14. Determinación del subíndice en función de los Nitratos.....	63
15. Determinación del subíndice en función de los Fosfatos.....	64
16. Determinación del subíndice en función de la Variación de Temperatura.....	65
17. Determinación del subíndice en función del % de Saturación del OD.....	66
18. Determinación del subíndice en función de los Coliformes Fecales.....	67
19. Determinación del subíndice en función de la DBO5.....	68



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Determinación de un índice de calidad de agua en el lago Macagua

Autores: Taisir E. Ahissami H.
Cesar J. Castro V.
Tutor: Ing. Antonio Seijas Botana
Fecha: Marzo, 2018

Resumen

En este trabajo especial de grado se determinó un índice de calidad de agua (ICA) utilizando el modelo propuesto por la NSF en el embalse Macagua, con el fin de dar a conocer el nivel de contaminación de este recurso hídrico, el cual tiene múltiples usos y beneficios para los habitantes de Puerto Ordaz. Este índice se representó en una escala del 0 al 100 justificándose también mediante un color característico, para facilitar su interpretación a la hora de su obtención. Se escogieron 8 parámetros que fueron: coliformes fecales, DBO_5 , oxígeno disuelto, pH, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos totales y la variación de temperatura, que son significativos para la determinación del ICA, tomando como respaldo los estudios realizados por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos para este modelo. Se realizaron tomas de muestras en cuatro puntos seleccionados del embalse para la determinación de las variables microbiológicas. Para las variables fisicoquímicas se extrajo información de estudios de calidad de agua realizados en Macagua por CVG EDELCA (2009). Luego de determinado el índice de calidad de agua en el recurso hídrico, se pudo constatar que la degradación del medio acuático es evidente, presentando valor de ICA menor a 50, lo que de cierto modo limita los diferentes usos que se le pueda dar al embalse. La finalidad de este trabajo además de la obtención de un ICA para Macagua, es que sirva como medio de información para el público en general y no necesariamente a personas que estén familiarizadas con este tipo de investigación, del mismo modo sirva de apoyo a futuros estudios de calidad de agua en embalses de Venezuela y por último que permita concientizar a las masas sobre el deterioro de la calidad del agua en el embalse Macagua.

Palabras clave: Índice de calidad de agua (ICA), Macagua, parámetros, fisicoquímicos, microbiológicos.

Introducción

La degradación de los recursos hídricos está directamente relacionada con el crecimiento poblacional y el impacto directo de este en la calidad del agua. Las actividades antropogénicas ejercen una gran presión en los cuerpos de agua principalmente mediante los vertidos de aguas servidas descargados al medio acuático, generando una serie de alteraciones en los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos, que en definitiva intervienen tanto en la disponibilidad de uso del cuerpo de agua como en su calidad, puesto que inciden de un modo u otro en el equilibrio ambiental y paulatinamente en el ser humano.

Por esto la importancia de contar con la información constante para los estudio de calidad de agua, con el fin de potenciar el correcto aprovechamiento del recurso hídrico. Para esto se plantean un gran número de estudios que den lugar a un análisis e interpretación acertada y fundamentada del estado verdadero de la calidad del agua.

Refiriéndose al embalse de Macagua, se puede afirmar que presenta una demografía acentuada en comparación con los demás embalses sobre el bajo Caroní, lo que promueve mayor degradación de la calidad del agua, producto de la contaminación constante debido a las actividades humanas, resaltándose sobre toda la margen izquierda del lago, ya que en esta zona se encuentra la ciudad y por consiguiente los cuatros afluentes de aguas residuales que generan vertidos sólidos y líquidos directamente al embalse sin ningún tipo de tratamiento previo.

Esta degradación en el cuerpo de agua crea la necesidad de evaluar las variables que se ven influenciadas por dichos acontecimientos, debido a que en la actualidad existe una carente inversión para el manejo y supervisión de la contaminación en el embalse Macagua, con el objetivo de ejercer de manera correcta

los procesos de mitigación y control del embalse. Es por esto que en el presente trabajo de grado se propone la determinación de un índice que permita proporcionar en líneas generales, concisas y de manera integrada la calidad del agua en el embalse de Macagua.

Es necesario describir los capítulos que estructuran este trabajo, de manera tal que se cumplan los objetivos propuestos:

Capítulo I, en este se presenta el motivo por el cual se escogió este trabajo, reflejando el problema y los objetivos, tanto general como específicos, así como también la delimitación del área a estudiar, su alcance y las limitaciones que se presentaron para el desarrollo del mismo.

Capítulo II, este capítulo engloba una serie de investigaciones que forman los cimientos teóricos, dando certeza a la investigación. También se resaltan estudios como antecedentes a tomar en cuenta, las bases legales requeridas para comparar los fenómenos que intervengan en las características del medio evaluado y la terminología básica necesaria para su correcta comprensión.

Capítulo III, presenta el marco metodológico que comprende el tipo y diseño de este trabajo de grado, todas las técnicas e instrumentos aplicados para la toma de datos y los respectivos pasos para realizarlos, así como también el sistema de variables que hacen virtud para su análisis en este estudio.

Capítulo IV, este último, pero quizás el capítulo más importante, abarca desde la presentación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante el estudio y aplicación de las bases que conforman los capítulos anteriores, hasta la realización de los objetivos planteados para así llegar a la determinación de un índice de calidad de agua en el lago de Macagua y finalmente propiciar un desenlace que permita mostrar las conclusiones y recomendaciones pertinentes. Por último se

presentan las referencias bibliográficas que desarrollaron el cuerpo de esta investigación y todos los anexos.

Capítulo I

El Problema

Planteamiento del problema

El agua es el elemento de la naturaleza más importante para la vida y más abundante en el planeta y está directamente relacionada con el desarrollo de innumerables formas de vida. La disponibilidad del agua en lo que respecta a cantidad y a su calidad rigen los niveles de bienestar del ser humano, así como también el desarrollo del entorno donde se aproveche. El efecto antrópico sobre los recursos hídricos apartando los beneficios a los usuarios, trae consigo una serie de impactos que comprometen de manera significativa la calidad del agua y sus distintos usos.

En Venezuela se encuentran grandes reservas de agua para los distintos aprovechamientos. Uno de los ríos con mayor explotación hídrica en el país es el río Caroní, contando con cinco represas consecutivas, finalizando antes de su desembocadura en el río Orinoco con la represa de Macagua, adyacente a Ciudad Guayana.

La contaminación en el lago de Macagua originada por múltiples factores como lo son el vertido de aguas servidas en el cuerpo de agua sin previo tratamiento, genera la necesidad de conocer los distintos parámetros que influyen en la contaminación del cuerpo de agua, para poder determinar en cualquier época del año el nivel de contaminación general del lago y consecuente a esto sus adecuados usos, ya que como es sabido estas variables tienden a cambiar de forma dinámica

constantemente y sobre todo en los cambios de las estaciones de lluvia y sequía en un país de clima neotropical como Venezuela.

Este trabajo especial de grado propone realizar un estudio para determinar un índice de calidad del agua en el embalse de Macagua, elegir las variables que más se adecuen al modelo, de manera tal que permita calcular todos los parámetros que intervienen en este estudio y dar a conocer la calidad del cuerpo de agua de manera práctica y sencilla .

En otras palabras se plantea dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál es el índice de calidad de agua en el lago de macagua? ¿Cuál es el modelo matemático que mejor se ajusta a los parámetros seleccionados para la evaluación de la calidad del agua en el embalse? ¿Qué parámetros físicoquímicos y microbiológicos se emplearan en el ICA? ¿Qué ponderación se le asignará a cada parámetro que conforman el ICA?

Objetivos

Objetivo General

Generar un índice de calidad de agua en el lago de Macagua.

Objetivos específicos

- Determinar el modelo matemático que mejor se ajuste a los parámetros seleccionados para la evaluación del índice de calidad del agua en el Lago Macagua.
- Seleccionar los parámetros físicoquímicos y microbiológicos que se emplearán en el cálculo del ICA.

- Definir los pesos relativos que se van a asignar a cada parámetro que conforman el ICA.
- Implementar el modelo para el cálculo del índice de calidad.

Justificación

Bolívar es un estado privilegiado ya que posee dos de los ríos más grandes de Venezuela, uno de ellos en particular se destaca por su aprovechamiento hidroeléctrico así como también su explotación natural para el abastecimiento de riego, agua y recreacional, el río Caroní. Debido a su vital importancia para las regiones adyacentes específicamente Ciudad Guayana que es la zona de mayor volumen demográfico aledaño al río Caroní (Lago de Macagua), se crea la necesidad de estudiar los distintos parámetros que afecten o comprometan la calidad del agua. Es por esto que se propone la determinación de un Índice de Calidad de Agua (ICA).

Este índice permite obtener una escala de la calidad del agua que se puede aplicar y emplear fácil e inmediatamente tomando en cuenta los resultados disponibles del monitoreo actualizado, la variabilidad de los puntos seleccionados para la toma de muestra y la inconstancia de parámetros analizados a fin de conocer valores de calidad de agua en sus distintos usos como lo son recreativo, agrícola, pesquero y abastecimiento de agua potable.

Además, la obtención de un ICA ayuda de manera eficiente al resumen de los distintos datos obtenidos en los monitoreos, dando lugar a una mejor comunicación de dichos resultados bien sea a personas familiarizadas con este tipo de datos (Ing. Ambientales, Sanitarios, Administradores de Recursos Hídricos) así como también a un público en general. Es por esto que si se puede agrupar y reducir todos los datos obtenidos del monitoreo que sobre la calidad del cuerpo de agua se realicen en un

solo valor, se podrá obtener así, una perspectiva general del nivel de contaminación en el que se encuentra el embalse.

Alcance y limitación

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la determinación de un índice de calidad de agua que permita conocer las condiciones actuales del lago de Macagua. El embalse donde se desarrollará la investigación se ve afectado directamente por agentes contaminantes como lo son las aguas servidas. Esta investigación fue escogida tomando en cuenta la facilidad de traslado al embalse y así como también los puntos de muestreo dentro del mismo.

En referencia a la caracterización previa del embalse se realizarán una serie de estudios y mediciones (oxígeno disuelto, coliformes totales, coliformes fecales entre otros), parametrizando los resultados, con el fin de obtener un modelo matemático para dar a conocer la calidad del agua en el Lago de Macagua mediante un índice. Este estudio se enfocará directamente en el análisis del índice de calidad de agua del Lago Macagua sobre la margen izquierda, debido a que es la zona más desfavorable en referencia a la presión constante de los vertidos de aguas servidas sin previo tratamiento.

Así mismo, en dicha margen se encuentran la mayoría de los balnearios destinados al esparcimiento y por ultimo pero quizás el más importante, es que esta toma de agua denominada torre toma de Toro Muerto, abastece gran parte de la ciudad de Puerto Ordaz, específicamente a las parroquias Cachamay, Universidad y Unare. De esta última a las comunidades de los sectores Unare I y Unare II.

Si bien este modelo es perfectamente aplicable para cualquier punto o zona del embalse sin limitantes de tiempo, se engloba el índice de calidad de agua de

Macagua bajo el análisis de la margen izquierda puesto que se obtiene el ICA más desfavorable, en comparación con las otras dos zonas del embalse (margen derecha y centro).

La investigación se realizará en los siguientes lugares: Embalse Macagua y el Laboratorio de ingeniería sanitaria de la Universidad Católica Andrés Bello Extensión Guayana, donde se realizarán las muestras y se ejecutarán los ensayos pertinentes. Este Trabajo de Grado tendrá un periodo estimado de ejecución de 6 meses desde octubre 2017 hasta febrero del 2018

Una limitación importante para este trabajo hace referencia al déficit de estudios concernientes a la calidad de agua del embalse estudiado, debido a que solo se cuenta con datos del último estudio limnológico hasta la fecha que corresponde a 2009 proporcionados por CVG EDELCA.

Capítulo II

Marco Teórico

Antecedentes

A continuación se presentan investigaciones que servirán como antecedentes para la realización de este Trabajo Especial de Grado:

García (2012), realizó un trabajo especial de grado titulado “Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile”. El objetivo general de este trabajo fue proponer índices de calidad de agua superficial para distintos tipos de ecosistemas hídricos presentes en Chile. En este trabajo se presenta una propuesta de índices de calidad físico-químicos de agua superficial para ecosistemas hídricos de Chile para el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente, con el objeto de clasificar la calidad de las aguas mediante una metodología que se adapte y represente específicamente las condiciones de cada ecosistema. Esta tesis constituyó una herramienta fundamental para este trabajo de grado, ya que se recopiló información importante para la determinación del ICA.

Asimismo, Bayorreta e Idrogo (2014) realizaron una investigación titulada “Propuesta de mitigación del efecto contaminante generado en los afluentes sin canalización sobre la margen izquierda del lago de Macagua” dichos autores diseñaron un conjunto de propuestas que promuevan la reducción de los niveles de contaminación por consecuencia de los afluentes sin canalización vertidos en la

margen izquierda del lago de macagua. Este trabajo aporta a este estudio conceptos básicos que se utilizaran en el marco teórico.

Carrillo y Urgilés (2016), desarrollaron una tesis titulada “Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig”. El objetivo general de este trabajo fue determinar el Índice de calidad de agua (ICA-NSF) de los ríos Mazar y Pindilig, muestreados durante el período Mayo-Noviembre 2015.

Principalmente de este estudio se extrajeron las gráficas necesarias para el cálculo de los subíndices de cada parámetro a utilizar en el modelo matemático para la determinación del índice de calidad de agua en el lago Macagua, como también información importante sobre el modelo desarrollado por la NSF.

Bases teóricas

El desarrollo de esta investigación hace necesario el manejo de conocimientos básicos sobre el embalse.

Un embalse es un cuerpo de agua generado por un cierre parcial o total de un río, produciendo que el agua se acumule en su lecho aumentando su área superficial. Un embalse se crea de dos maneras, por acción del hombre como lo son las obras hidráulicas con el fin de poseer un control sobre el recurso hídrico para sus distintos aprovechamientos, así como también de manera natural a causa de derrumbes que puedan trancar en algún punto del río su sección transversal. (Campero & Linares, 2015, p. 24).

Para efectos del desarrollo de esta investigación, se trabajó con la información de una serie de estudios alusivos al comportamiento fisicoquímico y microbiológico en el embalse Macagua, realizados por EDELCA Y CVG hasta el año 2009,

referente al programa de monitoreo limnológico y de calidad de agua en dicho embalse.

Embalse de Macagua



Figura 1. Vista aérea del Embalse de Macagua. Tomado de *Google Maps*, (p. 1), Google Maps, 2018, Venezuela. Derechos reservados por Google Maps.

El Embalse Macagua se encuentra ubicado en la zona adyacente a Ciudad Guayana, Estado Bolívar, Venezuela, específicamente en la margen izquierda del cauce del río Caroní, a unos 10 kilómetros antes de la desembocadura del río Caroní en el Orinoco. Dicho embalse abarca un área total de inundación de 47.4 Km² con un nivel oscilante entre 53.7 y 54.1 m.s.n.m, que permanece habitualmente constante por la regulación debido a las operaciones de la Presa Simón Bolívar. Cuando el embalse

se encuentra a su nivel máximo de agua, ocupa un volumen de 363 000 000 m³, con una profundidad promedio de 9 m y fluctuando hasta 35 m en el sector de Toro Muerto.

Es importante mencionar que el Embalse Macagua se encuentra dentro de una zona que presenta dos estaciones climáticas, de sequía que abarca los meses de Enero hasta Abril y la otra estación de lluvia delimitada por los meses de Abril hasta Diciembre. CVG EDELCA (como fue citado por Rodríguez & Chacón, 2010, p. 8-9).

El Embalse Macagua se dividió en tres zonas o franjas que lo caracterizan en base al grado de contaminación o influencia de contaminantes directos. Estas divisiones se pueden clasificar en tres, margen izquierda, centro y margen derecha del embalse, siendo la primera la más contaminada debido al mayor volumen demográfico que posee y a los cuatro afluentes que vierten sus aguas residuales sin previo tratamiento, estos son las quebradas Toro Muerto, La Sucia, Los Olivos y Santa Rosa.

Los puntos de muestreo fueron cuidadosamente seleccionados tomando en cuenta el impacto de los vertidos sin canalización sobre la margen izquierda del lago. Clasificándose en cuatro estaciones de muestreo, donde se recolectaron muestras en toda la margen. (Rodríguez & Chacón, 2010, p. 13-12)

1. La Orchila (LO), se encuentra aguas arriba, a 3 Km de la presa.
2. Toro Muerto (TM), adyacente al balneario Toro Muerto, ubicado en el tramo más estrecho del embalse.
3. Morocure (M), se encuentra a 9 Km aguas abajo de la entrada del embalse.
4. Rinconote (R), es la más cercana a la entrada del embalse, ubicadas a 1 Km aguas abajo.

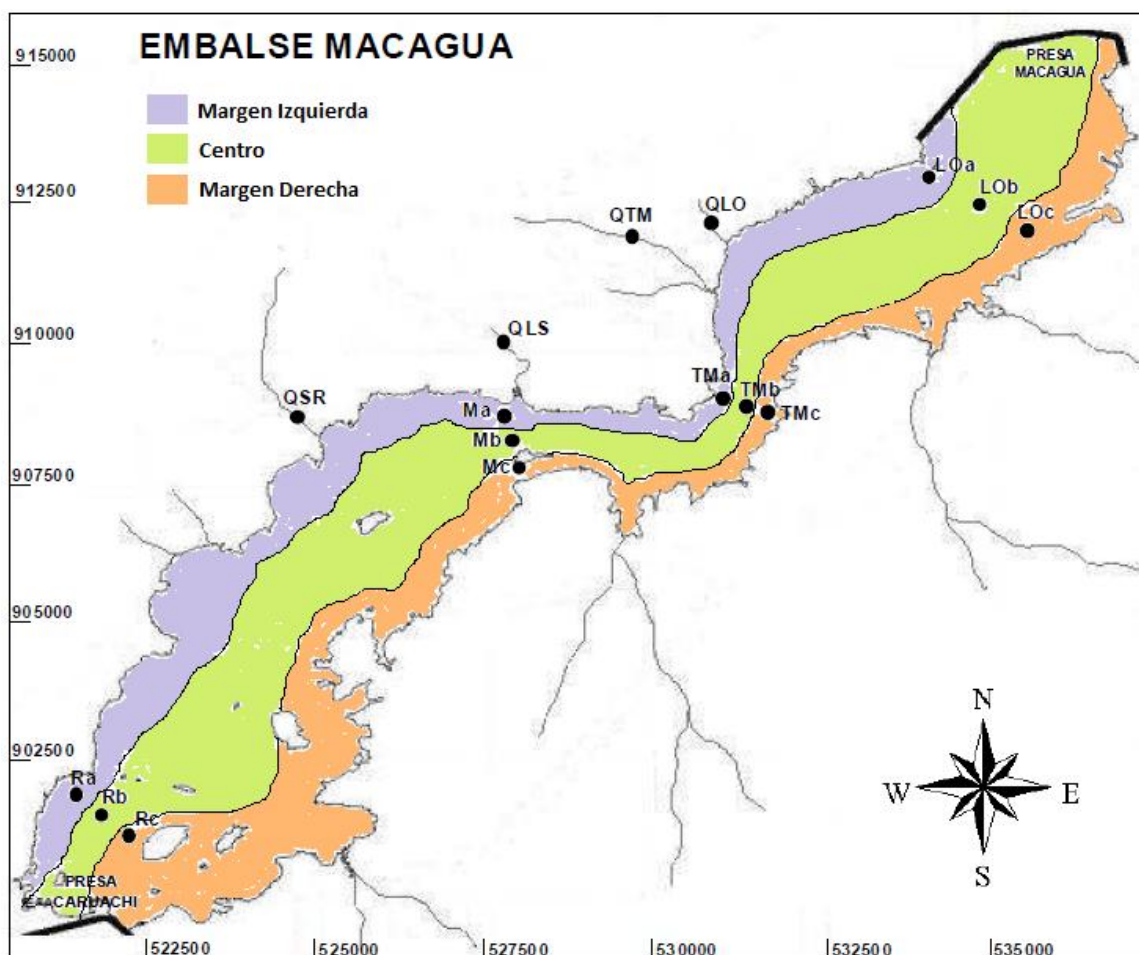


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo en el embalse Macagua. Adaptado de *Evaluación Espacio-Temporal de Especies Bacterianas en el Embalse Macagua*, (p. 13), por EDELCA, 2010, Venezuela. Derechos reservados por EDELCA.

El gráfico anterior hace referencia a una vista global del embalse donde se encuentran las zonas, quebradas y puntos analizados. Rinconote margen izquierda (Ra), Rinconote centro (Rb), Rinconote margen derecha (Rc), Morocure margen izquierda (Ma), Morocure centro (Mb), Morocure margen derecha (Mc), Toro Muerto margen izquierda (TMa), Toro Muerto centro (TMb), Toro Muerto margen derecha (TMc), La Orchila margen izquierda (LOa) La Orchila centro (LOb), La Orchila

margen derecha (LOc). Las quebradas: Santa Rosa (QSR), La Sucia (QLS), Toro Muerto (QTM) y Los Olivos (QLO).

Tabla 1.

Coordenadas de ubicación de las estaciones de muestreo en el embalse de Macagua.

Estación	Nomenclatura	Coordenadas Geográficas	
		Norte	Oeste
La Orchila	LO	8°10'41"	62°47'57"
Toro Muerto	TM	8°14'28"	62°44'39"
Morocure	M	8°14'56"	62°52'52"
Rinconote	R	8°16'44"	62°40'54"

Nota: Tomado de *Evaluación Espacio-Temporal de Especies Bacterianas en el Embalse Macagua*, (p. 14), por EDELCA, 2010, Venezuela. Derechos reservados por EDELCA.

Definición de un Índice de Calidad del Agua

La Autora García, (2012) define el índice de calidad de agua como:

Un índice de calidad es un número adimensional que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos, agregados matemáticamente.

En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo.

Puede definirse como una herramienta que permite reducir información sobre un gran número de parámetros físico-químicos y microbiológicos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color. (p. 14-15)

Básicamente un índice de calidad de agua es el resultado de un procedimiento matemático en el que intervienen los parámetros que se requieren junto con sus respectivos pesos relativos, con el fin de agruparlos en un solo valor que permita conocer el estado de un cuerpo de agua en cualquier momento y de la manera más simple, práctica y entendible.

Evolución del Índice de calidad de agua

En el transcurso de historia entidades de diferentes nacionalidades envueltas en el manejo de recursos hídricos, han empleado de manera regular índices fisicoquímicos para la valoración de la calidad del agua. Esto ha sido más evidente en la última década del siglo XX donde se evidencio un aumento importante en su aplicación.

Desde un principio el fin principal de los índices de calidad de agua estuvo dirigido a conocer más el efecto de las cargas orgánicas sin tomar en cuenta el efecto en la calidad del agua de otros procesos de igual o mayor importancia. Lo anteriormente dicho puede justificarse debido al tipo de contaminación existente en los años 60 y 70 en los países industrializados y la consecuente evolución de la contaminación.

En la actualidad es evidente observar que el desarrollo de los índices tiene en consideración otros procesos como lo son la contaminación por múltiples factores, su efecto en la diversidad y composición de las especies. La aplicación de un índice de calidad de agua fue planteada desde un principio por Horton en 1965, no obstante los índices no se emplearon sino a partir de los años 70, que fue cuando el ICA se populariza para la evaluación del recurso hídrico, como en el caso del índice de calidad de agua propuesto por la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NSF), Water Quality Index (WQI), en el año 1970 basándose en la metodología Delphi. (García, 2012, p. 13).

La opinión conjunta de 142 expertos sobre el manejo de la calidad del agua de distintos lugares de Estados Unidos, dió cabida al método Delphi empleando tres estudios. En el primer estudio se evalúan 35 parámetros de contaminación para evaluar si deberían estar (incluidos, indecisos o no incluidos) en el ICA. Estos se clasificaron en una escala del 1 al 5, siendo el 1 la valoración más alta y 5 la más baja. En el segundo estudio los expertos seleccionaron 9 de los 35 parámetros como los más relevantes: oxígeno disuelto, coliformes fecales, turbidez, fosfatos, pH, variación de la temperatura, solidos disueltos totales, nitratos y DBO₅.

Y en el último estudio se generaron las curvas de función correspondientes a cada variable, clasificándose en un rango de 0 a 100 indicados en el eje de las ordenadas de cada gráfico, y los distintos niveles de las variables en el eje X. Finalmente se recurrió a promediar todas las curvas con el fin de originar una sola línea para cada variable. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 28).

Actualmente este índice es uno de los más empleados por instituciones y agencias en los EEUU. En los años siguientes, se desarrollaron múltiples métodos para calcular un ICA, con el fin de describir los cuerpos de agua superficial presentes en su territorio. Distintos países crearon diversos índices de calidad de agua, indiferentemente de haber sido desarrollados para condiciones específicas de un país o una región, se han utilizado considerablemente en el mundo y con validaciones en distintos estudios. Consecuente a esto varios autores y entidades de control ambiental han adaptado dichos modelos a las condiciones particulares de diferentes ecosistemas hídricos. (García, 2012, p. 13).

Características de los índices en general

- Poseen la capacidad de reducir y sintetizar datos complejos.
- Pueden incorporarse en modelos para la obtención de decisiones.
- Son de fácil comprensión al público, los medios y los usuarios.

- Deben ser interpretados cuidadosamente de forma crítica con precaución y deben ser actualizados frecuentemente.

Un índice de calidad de agua expresa el nivel de contaminación del agua en una fecha específica de muestreo, expresándose en un porcentaje del agua pura, por lo tanto se puede inferir que un agua con un alto nivel de contaminación muestra un ICA cercano o igual a 0%, en contra partida a esto podemos afirmar que el agua en condiciones ideales tendrá un índice cercano al 100%. Como cito Carrillo y Urgilés, 2016 a (Torres, Hernán & Patiño, 2009)

Usos de los índices

Los índices tienen múltiples usos como lo son potenciar, optimizar y actualizar información referente a la calidad de un cuerpo de agua, los usos probables de los índices son:

- Manejo del recurso: un índice de calidad de agua se puede utilizar a la hora de tomar las decisiones sobre el manejo de un recurso hídrico proporcionando información a las personas o entidades que se encarguen del mismo.
- Clasificación de áreas: los índices pueden ser empleados también para clasificar el cuerpo de agua analizado en diferentes áreas geográficas con el fin de comparar el estado de cada una de ellas.
- Aplicación de normatividad: verifican el cumplimiento de las normas y políticas ambientales.
- Análisis de la tendencia: se evalúan durante un periodo de tiempo determinado la tendencia de la calidad del agua para verificar si esta aumenta o merma.

- Información pública: un ICA sirve como un medio educativo para generar concientización ambiental para el público en general. (Carrillo y Urgilés, 2016, p. 26-27)

Estructuración de un ICA

Haciendo referencia a Valcarcel y Rojas, (2009), es usual que para la representación de un índice de calidad de agua se consideren tres pasos consecutivos

1. Escoger los parámetros, que generalmente oscilan entre 2 y 73 variables.
2. Cálculo de los subíndices que corresponden los valores para cada parámetro.
3. Determinación del índice de calidad de agua por la incorporación de los subíndices. (p.2)

Índices de calidad de agua más utilizados a nivel mundial

En la siguiente tabla se pueden evidenciar los distintos métodos con sus respectivas fórmulas para la obtención de un índice de calidad de agua:

Tabla 2.

Fórmulas para el Cálculo de Índices de Calidad de Agua a partir de subíndices

Método	Formula	
Promedio no Ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$	1
Promedio Aritmético Ponderado (NSF)	$ICA = \sum_{i=1}^n q_i w_i$	2
Promedio Geométrico no Ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{\frac{1}{n}}$	3
Promedio Geométrico no Ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$	4
Subíndice Mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$	5
Subíndice Máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$	6
Promedio no Ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$	7
Promedio no Ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$	8

Nota: Adaptado de Capítulo II. Indicadores de la Calidad del Agua-Generalidades,

(p. 30), por Fernández y Solano, (2005), Colombia. Derechos reservados por la Universidad de Pamplona.

Promedio Aritmético Ponderado (ICA-NSF)

Este método consiste básicamente en tener los valores de los nueve parámetros que se incluirán en el modelo, para posteriormente multiplicar el subíndice de cada uno de ellos por sus respectivos pesos relativos y sumarlos. La ecuación 2 es la utilizada en este modelo, donde:

ICA: índice de calidad

i: cada uno de los parámetros de calidad elegidos

qi: subíndice del parámetro i; (se encuentra entre 0 y 100)

wi: pesos relativos asignados a cada parámetro (Ii), y ponderados entre 0 y 100, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a 100.

Tabla 3

Pesos Relativos aplicados para el cálculo del ICA- NSF

Parámetros	Peso Relativo (Wi)	Importancia
Oxígeno Disuelto	17%	Condiciones críticas para la vida acuática
Coliformes Fecales	15%	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
pH	12%	Condiciones para la vida acuática y agua potable
DBO5	10%	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
Fosfatos	10%	Influye en niveles de eutrofización
Nitratos	10%	Determinante en niveles de eutrofización y riesgos de consumo
Temperatura	10%	Crítico para la vida acuática y consumo humano
Solidos Suspendidos Totales	8%	Limitante para aguas de consumo humano
Turbiedad	8%	Limitante para aguas de consumo humano
Σ	100%	

Nota: Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 51), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

En caso de faltar algún parámetro para el cálculo del ICA-NSF, Fernández & Solano, 2005, plantean lo siguiente “Si alguno de estas variables falta, el valor total del índice puede ser calculado por la distribución de su peso entre las demás variables y su posterior recálculo” (p. 46).

Esto quiere decir que si a la hora de aplicar el modelo se cuentan con menos de nueve parámetros, el peso relativo de los faltantes se sumarán y luego se dividirán entre el número de parámetros restantes, para luego sumar ese resultado al peso relativo de cada uno de ellos.

En las siguientes gráficas se muestran las curvas para calcular el valor del subíndice de cada parámetro:

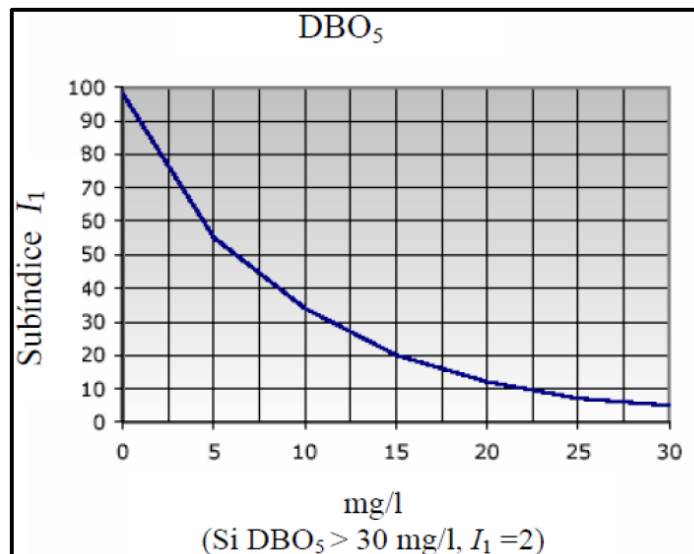


Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO_5 . Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 52), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

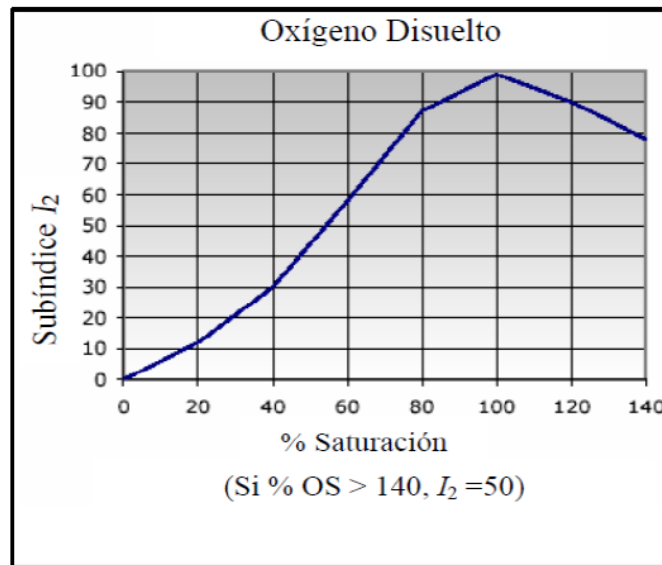


Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del OD. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 53), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

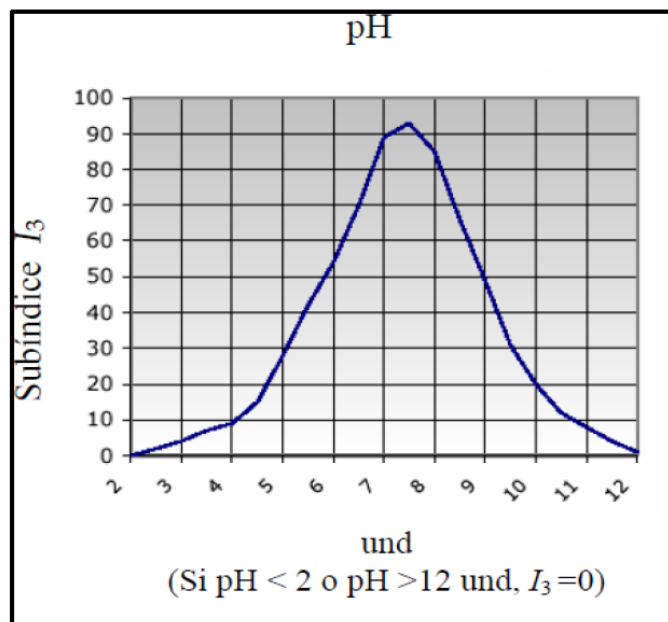


Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función del pH. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 54), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

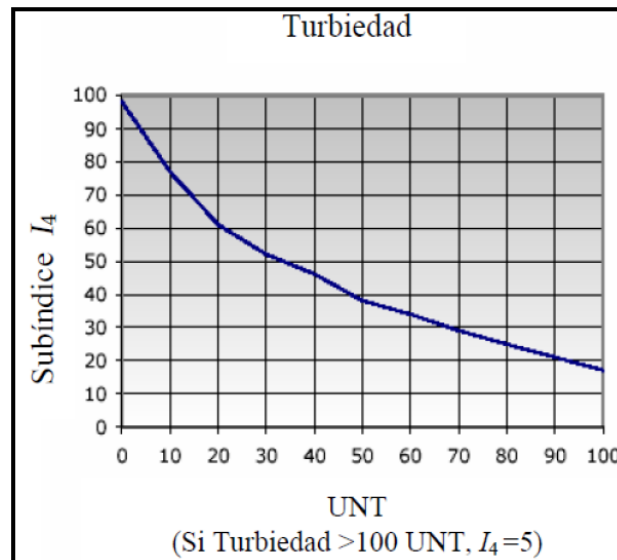


Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de la Turbiedad. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 54), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

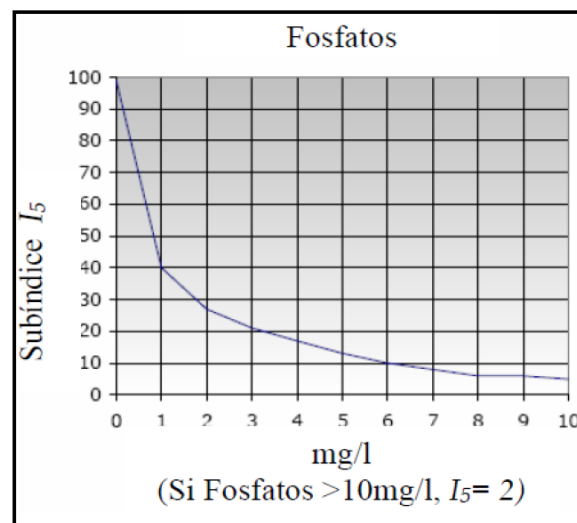


Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de los Fosfatos. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 55), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

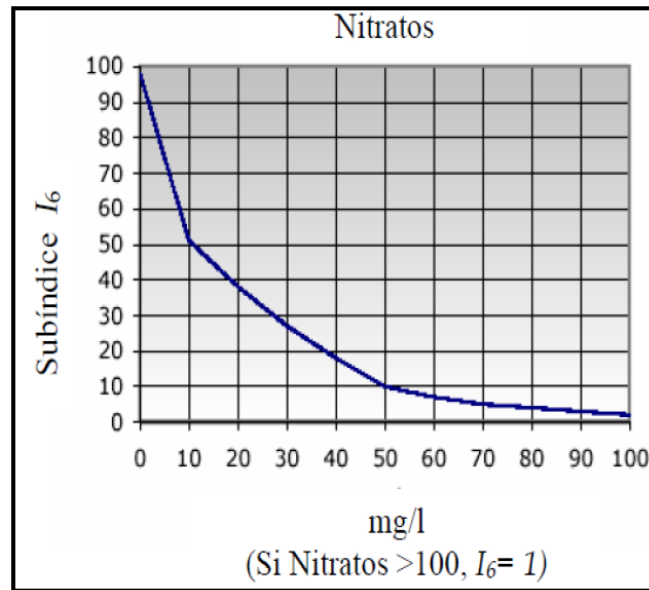


Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función de los Nitratos. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 55), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

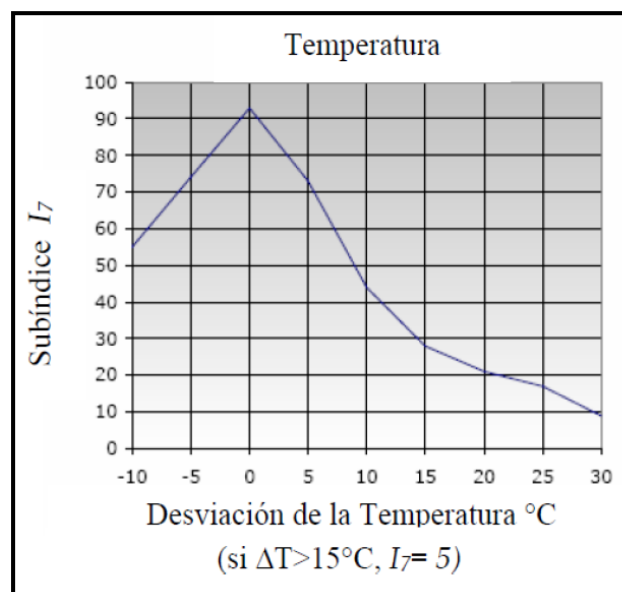


Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función de la Variación de Temperatura. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 56), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

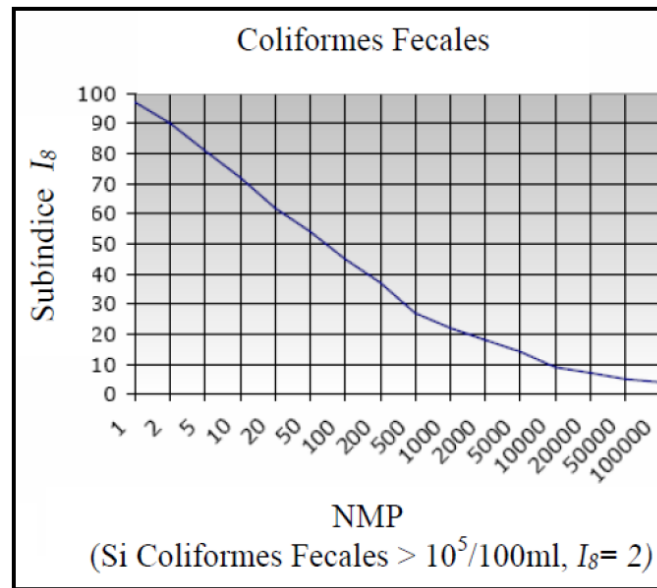


Figura 10. Valoración de la calidad de agua en función de los Coliformes Fecales. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 56), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

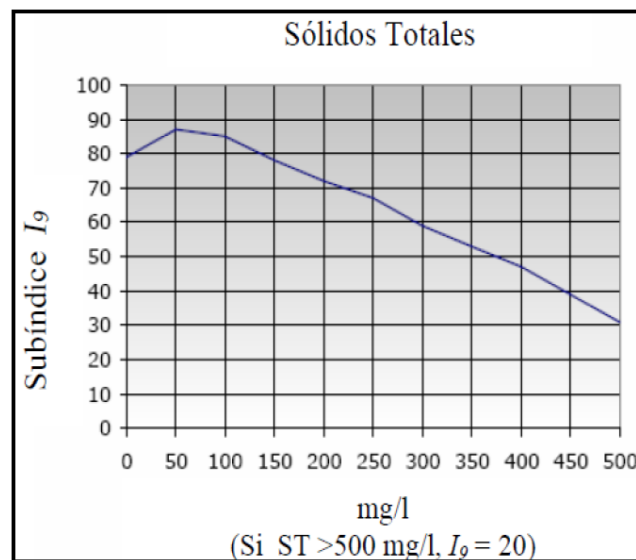


Figura 11. Valoración de la calidad de agua en función de los SDT. Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 57), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Este modelo matemático genera un valor comprendido entre 0 y 100 correspondiente al índice, donde valores cercanos a cero indican una calidad pobre del cuerpo de agua, caso contrario a valores cercanos a 100 ya que este indica calidades optimas del recurso hídrico.

Tabla 4.

Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF para el uso de abastecimiento público.

	Criterios aplicados al agua según el valor del ICA									
	No requiere purificación		Ligera purificación		Consumo dudoso sin purificación		Tratamiento potabilizador		Dudosa para consumo	
Criterio general										
ICA	100	91	90	71	70	51	50	26	25	0

Nota: Adaptado de *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindiling*, (p. 58), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Para valores dentro del rango de 100 a 91, se puede afirmar una excelente calidad, con una diversidad de vida acuática elevada y cualquier tipo de contacto directo con el agua sería seguro, puesto que se encuentra de manera totalmente pura o muy similar a como se halla en la naturaleza, carente de agentes que puedan deteriorar su calidad. No requiere de ningún tipo de tratamiento.





En el rango siguiente, que va desde 90 hasta 71, también se puede certificar como de buena calidad, sin embargo se tendría que hacer una purificación leve para poder consumir el agua, esto debido a que existe en el medio acuático agentes contaminantes.

El rango entre 70 y 51 describe una calidad mediana del agua, con una biodiversidad acuática menor, en comparación a los rangos anteriores, el crecimiento de algas es evidente y progresivo y evidencia un agua contaminada por múltiples elementos, al punto de que se necesita un tratamiento potabilizador para el consumo

humano. El rango de valores que va desde 50 a 26, representan aguas de mala calidad, al punto de ser inaceptables para el consumo y el tratamiento de estas es obligatorio. Si los valores del ICA se encuentran entre 25 y 0 la calidad es deplorable, por lo que el consumo humano o cualquier tipo de contacto son inadmisibles. Ott, 1981 (como fue citado por Carrillo & Urgilés, 2016, p. 58).

Tabla 5.

Clasificación de la calidad del agua para múltiples usos

USO: Pesca y vida acuática	Pesca y vida acuática abundante	Límite para peces muy sensitivos	Dudosa la pesca sin riesgos de salud	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	Inaceptable para la actividad pesquera	Inaceptable para la vida acuática						
Criterio general												
ICA	100	71	70	61	60	51	50	41	40	31	30	0
USO: Industrial	No requiere purificación	Ligera purificación para industrias de alta calidad	Utilizable en la mayoría de las industrias	Tratamiento Requerido para la mayoría de los usos	Uso restringido	Inaceptable para cualquier industria						
Criterio general												
ICA	100	91	90	71	70	51	50	31	30	21	20	0
USO: Agricultura	No requiere purificación	Ligera purificación para cultivos de alta calidad	Utilizable en la mayoría de los cultivos	Tratamiento Requerido para la mayoría de los cultivos	Uso sólo en cultivos muy resistentes	Inaceptable para el riego						
Criterio general												
ICA	100	91	90	71	70	51	50	31	30	21	20	0
USO: Recreativo	Apto para cualquier tipo de deporte acuático	No apto para deportes de inmersión	Dudosa para el contacto con el agua	Evitar el contacto, sólo con lanchas	Contaminación visible, evitar cercanía	Inaceptable para recreación						
Criterio general												
ICA	100	71	70	51	50	41	40	31	30	21	20	0

Nota: Adaptado de *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*, (p. 82), por N. Fernandez y F. Solano, 2005, Colombia. Derechos reservados por la Universidad de Pamplona.

Variables a utilizar en la determinación del ICA

- ***Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅)***

Esta variable representa la cantidad de oxígeno que demandan los microorganismos heterotrófico para oxidar o estabilizar la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas en un tiempo de 5 días a una temperatura 20 grados centígrados.

Impacto Ambiental

La demanda bioquímica de oxígeno está estrechamente relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, existe una correlación inversamente proporcional entre ambas, esto quiere decir que si los niveles de DBO₅ son elevados se evidencia una reducción de oxígeno disuelto. Al estar ausente la materia orgánica, la descomposición por bacterias no es relevante por consiguiente la DBO₅ será menor y el OD será mayor. El desarrollo de los organismos acuáticos estaría comprometido por el aumento descontrolado de la DBO₅. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 47)

- ***Temperatura***

Cuando hablamos de temperatura hacemos referencia a la cantidad de calor que posee un objeto, un cuerpo o el ambiente, medida en grados centígrados para efectos de este trabajo. La temperatura es imprescindible para el desarrollo de la mayoría de los organismos en un cuerpo de agua.

Los embalses pueden mostrar cambios de temperatura en consecuencia de múltiples factores como lo son la altitud, la profundidad del cauce, la latitud, la hora del día, la temperatura del ambiente, la circulación del aire, la nubosidad y las

variaciones en el transcurso del año vinculadas con la época de sequía e invierno. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 45)

Impacto Ambiental

La disminución de la cantidad de oxígeno presente en el agua, es una de las consecuencia por el incremento de la temperatura, trayendo consigo una serie de impactos, como el desarrollo de organismos patógenos, incremento de la solubilidad de algunas sustancias, estimulación de las reacciones químicas, incremento de la actividad biológica y eutrofización. La contaminación por descargas residuales o descargas de aguas industriales con altas temperaturas son otras de las causas de las variaciones de temperatura en un cuerpo de agua. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 45)

- ***pH***

El pH representa la concentración de hidrogeniones (H^+) o iones de hidrogeno en el agua, se ve representados desde una escala desde el 0 al 14, donde 0 tiende ser el valor más ácido y 14 el más alcalino, por lo que 7 sería un pH neutro. En definitiva mientras que el agua posea más iones de hidrogeno será más acida por lo que poseerá un pH menor.

Impacto ambiental

La importancia del pH radica en que un número importante de procesos que tienen lugar en las aguas naturales, dependen de este parámetro. El rango del pH para el desarrollo de la vida de los peces de agua dulce y los invertebrados debe estar entre 6 y 9, así como también debe permanecer constante para dar lugar al crecimiento y multiplicación de los organismos. Valores de pH fuera del rango anteriormente mencionados pueden truncar el balance de los compuestos químicos del agua y desplazar los contaminantes, de modo que al encontrarse niveles bajos de pH se eleva

la toxicidad del agua consecuente a que incrementa la solubilidad de metales como: el plomo, hierro, zinc, cobre, níquel, entre otros. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 46)

- ***Coliformes Fecales***

El grupo de coliformes fecales, está constituido por bacterias Gram-negativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h. de incubación a $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo la más prominente es *Escherichia coli*. (Camacho, Giles, Ortegón, Palao, Serrano & Velázquez, 2009, p. 2)

Se puede decir que los coliformes fecales son bacterias provenientes de las heces tanto de humanos como de animales y poseen características peculiares, una de ellas es su tolerancia a altas temperaturas. Este tipo de bacterias puede llegar a un cuerpo de agua mediante el vertido de aguas residuales.

Impacto ambiental

Un indicador de la calidad del cuerpo de agua es la presencia de coliformes fecales. La presencia de éstos en el agua muestran la existencia de contaminación de tipo microbiológica, lo que conlleva a la aparición de enfermedades intestinales en aquellas personas que la consuman. Algunas de estas enfermedades suelen ser: hepatitis A, gastroenteritis viral o bacteriana y fiebre tifoidea. Huayamave, 2013 (citado por Carrillo & Urgilés, 2016, p. 50)

- ***Oxígeno Disuelto (OD)***

El Oxígeno Disuelto representa la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y es un parámetro importante para determinar los niveles de contaminación de un medio acuático. Se puede acotar que un cuerpo de agua con mayores concentraciones de oxígeno disuelto da lugar a la sobrevivencia de la vida acuática. (Peña, 2007, p. 2)

Impacto Ambiental

Un indicador imprescindible para la evaluación de la calidad del agua en recursos hídricos es el oxígeno disuelto. La información reflejada sobre las reacciones químicas y bioquímicas que suceden en las aguas se ven comprometidas por la cantidad de oxígeno disuelto en ellas. Vertidos con carga orgánica como material animal y vegetal, son causas de niveles bajos de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua, debido a que las bacterias necesitan el oxígeno para poder descomponer el material orgánico produciendo una disminución del oxígeno disuelto en el agua, trayendo como consecuencia modificaciones en la estructura del sistema acuático. Huayamave, 2013 (citado por Carrillo & Urgilés, 2016, p. 49)

Para la obtención del OD se procedió a calcularlo experimentalmente, utilizando recipientes de Winkler donde se adicionaron las muestras recolectadas en cada punto, con 1 ml de solución de Sulfato Manganeso ($MnSO_4$), con el fin de atrapar el OD que se encuentra en el agua, para luego medirlo en el laboratorio, colocando el recipiente Winkler sobre la bandeja agitadora con un dipolo y así obtener el valor de OD de cada muestra con el Oxímetro.

- ***Sólidos Suspendidos Totales***

Los sólidos suspendidos totales se pueden definir como el conjunto de partículas que se encuentran en suspensión en el cuerpo de agua y distinguibles al ser retenidos mediante una malla filtrante de fibra de vidrio y secados a 103-105 °C. (“Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes”, 1996)

Impacto Ambiental

La calidad del agua se puede ver afectada por la existencia de elevadas cantidades de sólidos suspendidos totales, ya que estos están relacionados

directamente con los procesos erosivos en un cuerpo de agua, así como también el arrastre de sedimentos y partículas provenientes de vertidos de aguas residuales, agrícolas o industriales, que pueden ser tóxicos y deteriorar la calidad del medio acuático.

- ***Turbidez***

Es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como arenas, arcillas, plancton y otros organismos microscópicos. (García, 2012, p. 27)

La turbidez o turbiedad, es un fenómeno que caracteriza la apariencia del agua y se describe como el nivel de transparencia de este líquido, que en definitiva está directamente relacionado con la cantidad de partículas en suspensión que este medio posea.

Impacto Ambiental

Los altos niveles de turbidez son consecuencia de la conglomeración de partículas suspendidas que captan el calor de la luz proveniente del sol y generan un incremento de la temperatura del agua, trayendo consigo una disminución en la concentración de oxígeno y consecuente a esto, que el agua pierda la capacidad de mantener a los distintos organismos acuáticos. Ramírez, Evaluación y Diagnóstico, 2011 (citado por Carrillo & Urgilés, 2016, p. 46)

- ***Fosfato***

Se pueden describir los fosfatos como compuestos químicos conformados por oxígeno y fósforo, el cual se considera vital para el desarrollo de los animales y

plantas en el cuerpo de agua. Los fosfatos se miden en mg/l. (Carrillo, Urgilés, 2016, p. 48)

Impacto Ambiental

Las cantidades excesivas de fosfatos que son transportados por las aguas de lluvia desde los suelos agrícolas y vertidos de aguas no tratadas, conllevan al desarrollo desmesurado de algas y plantas en un cuerpo de agua, generando una disminución del oxígeno, comprometiendo su calidad. (Carrillo & Urgilés, 2016, p. 48)

- ***Nitratos***

Los nitratos o también llamados nitrógeno orgánico, son la combinación del nitrógeno con el oxígeno, expresado como NO_3 debido a la unión de tres átomos de oxígeno con un átomo de nitrógeno y se puede encontrar en un cuerpo de agua debido a la descomposición de materias animales y vegetales, de la disolución de rocas y por efecto antrópico como lo son los efluentes industriales y desechos agrícolas.

Impacto Ambiental

Así como el Fosfato, los Nitratos son compuestos que sirven de nutrientes a un cuerpo de agua, sin embargo altas cantidades de este, pueden promover el fenómeno de eutrofización en lagos así como también agotar el oxígeno presente en el agua, comprometiendo a los organismos acuáticos.

Bases legales

Para el presente trabajo especial de grado se utilizaron las siguientes normas nacionales vigentes:

DECRETO 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos:

CAPÍTULO II

DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS

Artículo 3°. Las aguas se clasifican en:

Tipo 1: Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo 1 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub-Tipo 1A: Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.

Sub-Tipo 1B: Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.

Sub-Tipo 1C: Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2: Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub Tipo 2A: Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.

Sub Tipo 2B: Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Tipo 3: Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4: Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

Sub Tipo 4A: Aguas para el contacto humano total.

Sub Tipo 4B: Aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5: Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

Tipo 6: Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Tipo 7: Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Terminología básica

Afluente: “Es un curso de agua, muchas veces también denominado tributario, el cual desemboca en un río de mayor caudal y volumen de agua, que finalmente se unifica en un lugar específico llamado confluencia”. (Guerrero, 2011, párr. 1)

Calidad de agua: La calidad del agua se refiere al grado de perturbación o potencial de actividades de tratamiento que posee un ecosistema acuático sometido a diferentes presiones humanas. La calidad de los cuerpos de agua repercute en las actividades que dependen de un alto grado de la misma, disminuyendo su potencial productivo. (Jiménez et al., 2010, p.12)

Aguas servidas: Son las aguas cloacales residuales de cualquier clase, provenientes de una edificación, o con o sin contener material fecal y/o orina pero sin contener aguas de lluvia. (Gaceta Oficial N° 4.044, 1988, p. 126)

Agua cruda: es el término empleado para las aguas naturales, industriales o residuales sin ningún tipo de tratamiento. (COVENIN 2634, 2002, p. 1)

Agua industrial: es aquella con la calidad requerida para su uso en procesos industriales. (COVENIN 2634, 2002, p. 1)

Agua natural: es aquella proveniente de fuentes naturales, tales como ríos, lagos manantiales y otros. (COVENIN 2634, 2002, p. 1)

Agua potable: es aquella que cumple con los requisitos microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radioactivos que establecen las normas de calidad del agua potable y que se considera apta para el consumo humano. (COVENIN 2634, 2002, p. 1)

Agua residual: es el agua proveniente de cualquier proceso industrial, actividad doméstica, agropecuaria, comercial y que perdió sus características originales. (COVENIN 2634, 2002, p. 2)

Cuerpo de agua: es todo sistema natural o artificial de agua en la naturaleza, bien sea estático o dinámico de carácter permanente, semipermanente o estacional. (COVENIN 2634, 2002, p. 3)

Esterilización: es el proceso de destrucción de todo organismo vivo, generalmente mediante el empleo de calor o de un producto químico. (COVENIN 2634, 2002, p. 4)

Ictícola: este término se refiere a los peces.

Muestreo: es la obtención de una porción representativa del material de interés. (COVENIN 2634, 2002, p. 5)

Número más probable (NMP): cantidad de organismos por unidad de volumen que de acuerdo con la teoría estadística, produce el resultado analítico observado con mayor probabilidad que cualquier otra cantidad o bien que produce el resultado analítico observado con la mayor frecuencia.

Se expresa como densidad de organismos por 100 ml. Los resultados se calculan a partir del número de hallazgos positivos de organismos del grupo coliforme producidos por siembra, realizados con diluciones decimales múltiples. (COVENIN 2634, 2002, p. 5)

Vertido líquido: descarga de aguas residuales que se realice directa o indirectamente a los cuerpos de agua, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el suelo, descarga a redes cloacales, descarga al medio marino costero y descargas submarinas. (COVENIN 2634, 2002, p. 7)

Degradación: Se define como cualquier cambio o alteración que se percibe como perjudicial o indeseable. (Zurrita, et al., 2015, p.1)

Dilución: es el procedimiento que se sigue para preparar una disolución menos concentrada a partir de una más concentrada, y consiste simplemente en añadir más solvente. (Cedrón; Landa; Robles, 2011, párr 1)

Eutrofización: Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén bien repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más fácil los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. (Echarri, 1998, párr. 1)

Inoculación: La inoculación es el proceso mediante el cual un patógeno y su hospedante entran en contacto. (Urbina, 2011, p. 2)

Región Neotropical: La Región Neotropical se extiende desde el límite norte de Patagonia, pasando por los Andes, las cuencas del Amazonas y el Orinoco, el Caribe y Mesoamérica. (Espinosa, et al., 2008, p. 58)

Limnología: Es una ciencia que estudia las aguas continentales, lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales como sistemas, es multidisciplinaria porque involucra a todas

las ciencias que intervienen en el entendimiento de las aguas naturales (física, química, geología, ciencias biológicas y matemáticas). (Páez, 2013, p. 3)

Oxímetro: Equipo electrónico que puede medir el oxígeno en porcentaje de saturación o en ppm, disuelto en el agua.

Parámetro: se definen a aquellas variables y constantes que aparecen en una expresión matemática, siendo su variación la que da lugar a las distintas soluciones de un problema. (Navarro, 2016, párr. 1)

Capítulo III

Marco Metodológico

Tipo de investigación

Según Valarino, Yáber y Cemborain (2010), La Investigación Evaluativa “Es aquella que tiene como propósito determinar sistemáticamente la calidad o valor de programas, proyectos, planes e intervenciones. Se identifica con los siguientes verbos. Diagnosticar, justipreciar, valorar, apreciar” (pag.76).

El tipo de investigación que se implementará será el tipo evaluativo debido a que se trabajan criterios biológicos, bacteriológicos y fisicoquímicos del agua con el objetivo de parametrizar las diferentes variables que se utilizaran en la determinación del índice de calidad de agua del Lago de Macagua.

Diseño de investigación

Según el autor Palella y Martins (2010), define: La Investigación de campo “consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta”. (pag.88).

En cuanto al diseño se considera que el mismo es de campo, en tanto se visitará el lago de Macagua a fin de hacer las observaciones requeridas así como

tomar las muestras exigidas por el estudio, estas muestras serán captadas en los puntos seleccionados en el lago, para luego proceder a la realización de los estudios y pruebas pertinentes en el laboratorio de ingeniería sanitaria, culminando este proceso con la determinación del índice de calidad del agua (ICA).

Sistema de variables

Hernández, Fernández y Baptista (1997), definen una variable como “una propiedad que puede variar (adquirir diversos valores) y cuya variación es susceptible de medirse” (p. 22).

Este trabajo de investigación toma en consideración para su avance y resolución las siguientes variables: Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Materia Orgánica, Sólidos Suspendedos Totales, Nitratos, Fosfatos y Coliformes fecales, analizadas en muestras de agua del Lago de Macagua y extraídas de estudios previos en el embalse por CVG EDELCA.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

En cuanto a las técnicas e instrumentación, en el trabajo de investigación a realizar se procederá a utilizar la técnica de observación y el instrumento a implementar es la guía de observación, se recolectaran una serie de imágenes que servirán de memoria para completar una guía fotográfica.

Se implementará las técnicas de síntesis de datos a través de la toma de muestras que posteriormente se analizaran en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Universidad Católica Andrés Bello Extensión Guayana, utilizando las normativas que dirigen los ensayos apegados a las regulaciones impuestas para la certificación del ministerio de ambiente

Procedimiento

Se desarrollaron las siguientes actividades con el fin de cumplir con los objetivos propuestos:

1. Documentación

Se inició esta etapa con la selección y compilación de información bibliográfica disponible referente al tema tratado, donde se abordaron documentos, trabajos especiales de grado, páginas web y libros, con el objetivo de clasificar la información útil para este estudio, dando como resultado la selección del modelo “Promedio Aritmético Ponderado NSF” para el cálculo del ICA, posterior a esto se seleccionaron los parámetros físicoquímicos y microbiológicos que se emplearon en el ICA, así como también sus respectivos pesos relativos dentro del modelo matemático seleccionado.

2. Selección de los puntos de muestreo

En esta etapa se evaluaron los posibles puntos de muestreo sobre el área limítrofe del embalse, donde se seleccionaron “4” estaciones sobre la margen más afectada del recurso hídrico, con el fin de desarrollar el objetivo de la investigación en el entorno más desfavorable.

3. Toma de muestras

En esta fase se realizó un análisis de la logística para trasladarse hasta las estaciones de muestreo, contando con el apoyo de facilitadores dispuestos a prestar la ayuda necesaria mediante embarcaciones aptas para la recolección de las muestras, pautándose la salida desde la marina del Centro Ítalo Venezolano de Guayana.

En un principio fue complicado organizar la logística para el traslado hacia los sitios de muestreo, debido a que el embalse Macagua presentó en las dos expediciones un oleaje pronunciado y constante, lo que dificultó la recolección de las

muestras, sin embargo gracias al apoyo de Luis Alfredo Rangel Merkt y sus conocimientos sobre las condiciones de navegación en el embalse Macagua, se pudo cumplir con la recolección de las muestras (como se observa en el anexo A).

4. Pruebas de laboratorio

Esta fase constituyó todos los análisis y ensayos de laboratorio realizados en sintonía con el Manual de prácticas de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Católica Andrés Bello extensión Guayana, con el fin de calcular y actualizar correctamente los parámetros que se necesiten para aplicar el modelo (como se observa en los anexos B y C).

5. Aplicación del modelo para la obtención del ICA

En este inciso se agruparon todos los parámetros que anteriormente se habían escogido y se introdujeron junto con sus respectivos pesos relativos en el modelo matemático seleccionado para la obtención del índice de calidad de agua en el lago de Macagua.

6. Análisis de los resultados

En esta fase se obtuvieron los resultados que arrojó el modelo para la determinación del ICA, donde se pudo evaluar el nivel de salud del lago en sus distintas zonas, así como también dar una idea clara de la situación general del cuerpo de agua estudiado.

7. Conclusiones y recomendaciones

En esta etapa se realizaron todas las conclusiones asociadas a los resultados obtenidos mediante la ejecución de los objetivos, para luego formular una serie de recomendaciones que permitan analizar desde distintos puntos de vista esta investigación y fomentar el estudio de trabajos relacionados con este tema.

Capítulo IV

Presentación y análisis de resultados

Determinación de un índice de calidad de agua en el Lago Macagua.

Selección del modelo matemático que mejor se ajuste a la evaluación del índice de calidad del agua en el Lago Macagua.

Este estudio partió desde la revisión bibliográfica referente a los distintos índices de calidad de agua, con el fin de determinar el modelo que mejor se ajuste a las condiciones del embalse Macagua, en tanto, al estudiar ICA desarrollados en el ámbito internacional, así como también en el país, se decidió implementar el índice desarrollado por la Fundación Nacional de los Estados Unidos (ICA-NSF), que utiliza el método Promedio Aritmético Ponderado, debido a su aplicabilidad en diferentes investigaciones en el mundo y por ser más sensible a los cambios que se pueden producir en el agua.

En Venezuela fue implementado específicamente para la obtención de un índice de calidad de agua en los ríos Aroa y Yaracuy, que se encuentran en los estados Falcón y Yaracuy, así como también de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo.

Este modelo aplica la ecuación número 2 de la tabla 2 denominada fórmulas para el cálculo de Índices de Calidad de Agua a partir de subíndices, evaluando nueve parámetros los cuales serán analizados para verificar su adición a este modelo en el siguiente objetivo.

Selección de los parámetros a utilizar en el cálculo del índice de calidad de agua.

Se tomaron en cuenta los parámetros de la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos para la determinación del índice donde se recopilieron datos de los siguientes parámetros fisicoquímicos: Temperatura, Nitratos, Fosfatos, Sólidos Suspendidos Totales y pH, procedentes del Departamento De Gestión De Recursos Hídricos de EDELCA hasta el año 2009, debido a que estos tipos de variables no sufren cambios significativos con respecto al tiempo en el embalse.

Si bien la turbiedad es un parámetro fisicoquímico tomado en cuenta en el modelo planteado por la NSF para el cálculo del índice de calidad de agua, en el caso de Macagua por poseer aguas con alto contenido de ácidos orgánicos (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) procedentes de la descomposición de la materia orgánica como troncos y hojas, arrastrados desde el origen de la cuenca del río Caroní, no se tomó en cuenta para el cálculo del ICA en el Embalse, esto debido a que la turbiedad se vería directamente influenciada por estos ácidos orgánicos y no por los sólidos suspendidos totales que están estrechamente relacionados con este parámetro, generando valores incongruentes.

Se puede afirmar que esto está más relacionado a problemas de color que de turbiedad, como se comprobó de manera rápida en el laboratorio haciendo una pequeña comparación del color aparente y el color real en muestras del lago Macagua, obteniendo valores igual a 70 y 65 unidades de color respectivamente.

En cuanto a las variables biológicas que se emplearon en el modelo ICA-NSF, tenemos: Oxígeno Disuelto, DBO₅ y Coliformes Fecales, las cuales fueron medidas mediante la recolección de muestras en los puntos seleccionados, debido a que la data existente de dichas variables corresponde a monitoreos hasta el 2009 y fue necesaria la actualización, ya que estos parámetros son sensibles a cambios importantes con respecto al tiempo y a las condiciones del embalse.

Tabla 6.

Variables a utilizar en el ICA

Variables Físicoquímicas	Unidad
Temperatura	°C
pH	Unidades de pH
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L
Nitratos	mg/L
Fosfatos	mg/L
Variables Biológicas	Unidad
DBO	mg/L
OD	% Sat
Coliformes Fecales	NMP/100mL

En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos del análisis de las muestras captadas en los puntos seleccionados.

Tabla 7.

Resultados de las variables microbiológicas (Toma de muestra 1)

Variable	Margen Izquierda			
	LO	TM	M	R
Coliformes fecales (NMP/100mL)	≥2400	43	≥2400	93
Oxígeno disuelto (% Sat)	81,93	96,88	89,60	81,93
DBO5 (mg/L)	28,35	35,40	31,65	36,30

Como se puede notar los coliformes fecales en las estaciones La Orchila y Morocure arrojaron valores mayores a 2400 NPM/100 ml, por lo que fue necesario realizar un segundo muestreo en esos puntos y analizarlos en el laboratorio mediante

un procedimiento de diluciones con el fin de tener el verdadero valor aproximado de este parámetro en cada uno de ellos.

Tabla 8.

Resultados de las variables microbiológicas (toma de muestra 2)

Variable	Margen Izquierda			
	LO	TM	M	R
Coliformes fecales (NMP/100mL)	43000	43	90000	93
Oxígeno disuelto (% Sat)	81,93	96.88	89,60	81,93
DBO5 (mg/L)	28,35	35,40	31,65	36,30

Realizando un simple análisis de la tabla presentada anteriormente, se puede evidenciar en líneas generales que el deterioro de la calidad del agua se ve directamente relacionada a una mayor presión en las zonas de La Orchila y Morocure, esto debido a que la mayor concentración de coliformes fecales reside en estas estaciones.

Dicho esto se puede realizar una comparación con el decreto 883 de las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, estos valores se encontraron fuera de la norma en la mayoría de las clasificaciones según el tipo de agua, por ejemplo para aguas subtipo 4A destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, se aceptan coliformes fecales menores a 200 NMP por cada 100 ml en el 90% en las muestras y menor a 400 NMP en el 10% restante, evidentemente en los dos puntos más contaminados se exceden por mucho estos valores.

También se puede observar que los resultados de materia orgánica en toda la margen izquierda fluctúan entre 28 y 36 mg/l, sin embargo no se reflejan variaciones acentuadas entre las estaciones, en cuanto al oxígeno disuelto se pudo contrastar que permanecen relativamente constante en toda la zona estudiada.

Para efectos de la adición de estos resultados en el modelo, se deben unificar los datos de cada parámetro en un solo valor mediante un promedio ponderado. El peso que se asignó a cada parámetro dependiendo de la zona donde fue muestreado, se clasificó debido a la importancia atribuida a distintos factores que serán justificados a continuación:

En la zona de toro muerto se encuentra localizada la estructura que capta el agua para abastecer a la mayoría de la ciudad es por esto que en términos generales este punto resalta en importancia en comparación con los demás, por lo cual se le asignó un peso igual al 35%.

A Morocure se le asignó una ponderación de 30% por ser el segundo punto más importante evaluado, justificándose debido a que en esta zona se da lugar al esparcimiento por medio de balnearios, que son áreas frecuentes de los ciudadanos, así como también, se puede mencionar que la dirección del flujo dirige el agua a las zonas de convergencia adyacente a la torre toma de Toro Muerto lo que pudiera influir de una manera u otra en la calidad de agua en el último punto mencionado.

Por último se le adjudicaron 20% y 15% a las estaciones de muestreos Rinconote y La Orchila respectivamente. Rinconote se le dio una ponderación un poco mayor al de La Orchila puesto que se encuentra aguas arriba del embalse y afecta de cierta forma a las demás estaciones. La Orchila tiene el menor porcentaje ya que se encuentra aguas abajo y en el área limítrofe de seguridad de la presa, por consiguiente no hay incidencia de actividades comunes como en las otras zonas del embalse.

Tabla 9.

Ponderación asignada a cada estación dependiendo de su importancia.

Estación	Ponderación	Importancia
La Orchila	15%	Aguas abajo del embalse
Toro Muerto	35%	Ubicación de la torre toma para el abastecimiento de agua de la ciudad
Morocure	30%	Zona destinada al esparcimiento
Rinconote	20%	Aguas arriba del embalse

Tabla 10.

Resultados microbiológicos de la margen izquierda del embalse Macagua

Variable	Margen Izquierda
Coliformes fecales (NMP/100mL)	33484
Oxígeno disuelto (% Sat)	89,46
DBO5 (mg/L)	33,39

Tabla 11.

Resultados fisicoquímicos de las estaciones embalse Macagua (Rinconote, Morocure, Toro Muerto y La Orchila) 2009.

Variable	Margen Izquierda
pH (Unidades de pH)	5,2
Nitratos (NO ₃ , mg/L)	5,93
Fosfato (PO ₄ , mg/L)	41
Delta de Temperatura (°C)	3
Turbiedad (NTU)	---
Solidos Suspendidos Totales	7,38

Nota: Tomado del *Departamento De Gestión De Recursos Hídricos de EDELCA*, (p. 44), por E. Rodríguez y M. Chacón, 2010, Venezuela. Derechos reservados por Eunice Rodríguez y María Chacón.

Pesos relativos para cada parámetro del “ICA-NSF” de acuerdo a su importancia.

Como ya se reseñó anteriormente, no se tomó en cuenta la turbiedad para la determinación del índice, del mismo modo no influyó significativamente en la aplicación del modelo puesto que el ICA-NSF es adaptable a las condiciones del embalse y simplemente se recalcularon los pesos relativos, dividiendo el peso de la turbiedad entre 8 que corresponde al número de parámetros restantes en este modelo, para finalmente sumar a cada uno de los factores de ponderación el resultado de esta división, a fin de obtener los nuevos pesos relativos.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros que se emplearon para la determinación del índice de calidad del agua con sus respectivos pesos o porcentajes relativos de acuerdo a su nivel de importancia.

Tabla 12.

Pesos relativos adaptados para el cálculo del ICA- NSF en el embalse Macagua

Parámetros	Peso Relativo (Wi)	Importancia
Oxígeno Disuelto	18%	Condiciones críticas para la vida acuática
Coliformes Fecales	16%	Contaminación fecal, limitante para aguas de consumo humano
DBO5	11%	Materia orgánica biodegradable, limitante para aguas de consumo humano
pH	13%	Condiciones para la vida acuática y agua potable
Fosfatos	11%	Influye en niveles de eutrofización
Nitratos	11%	Determinante en niveles de eutrofización y riesgos de consumo
Temperatura	11%	Crítico para la vida acuática y consumo humano
Solidos Suspendidos Totales	9%	Limitante para aguas de consumo humano
Σ	100%	

Nota: Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 51), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Implementación del modelo para el cálculo del índice de calidad de agua

Para introducir el valor de cada parámetro en el modelo matemático seleccionado, se buscó la relación existente entre su concentración o nivel y el valor del subíndice (Q_i) localizado en el eje Y de las curvas estandarizadas para cada parámetro proporcionadas por este modelo para la determinación del ICA. Dichas curvas generan un rango de valores de 0 a 100, dependiendo del grado de contaminación a causa de la concentración o nivel del parámetro.

El procedimiento para el cálculo del subíndice de los sólidos suspendidos totales fue el siguiente:

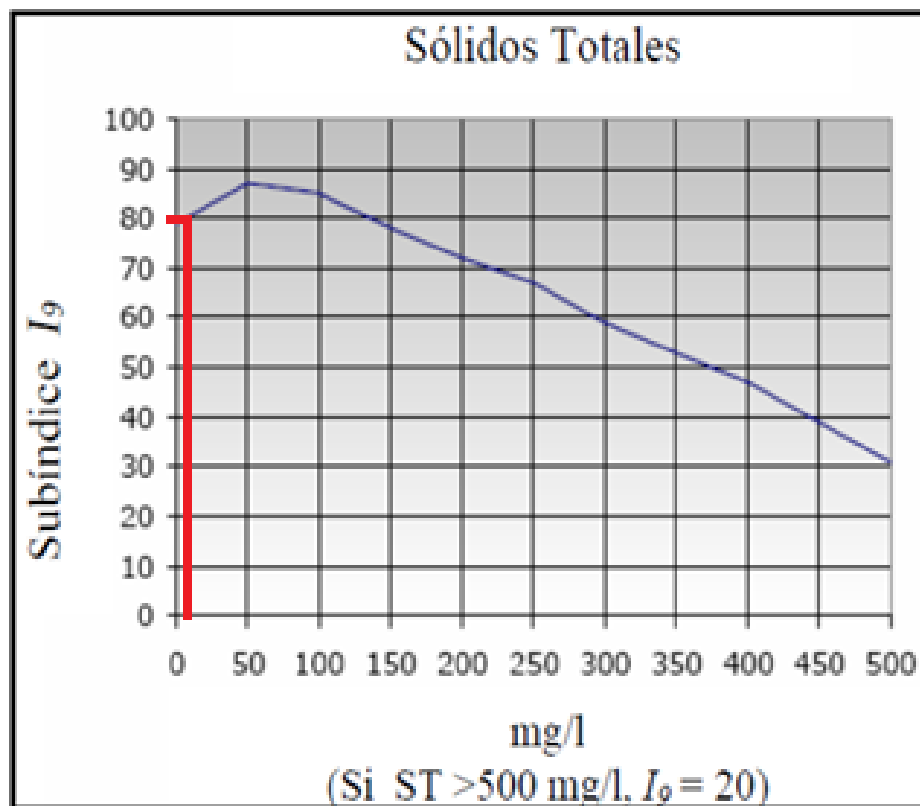


Figura 12. Determinación del subíndice en función de los SDT. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 57), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Cuando el valor de los sólidos suspendidos totales sobrepasa los 500 mg/l el (Q_i) será igual a 20, en caso de ser menor buscamos el valor en el eje X, se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En este caso realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Q_i igual a 80.

El procedimiento para el cálculo del subíndice del pH fue el siguiente:

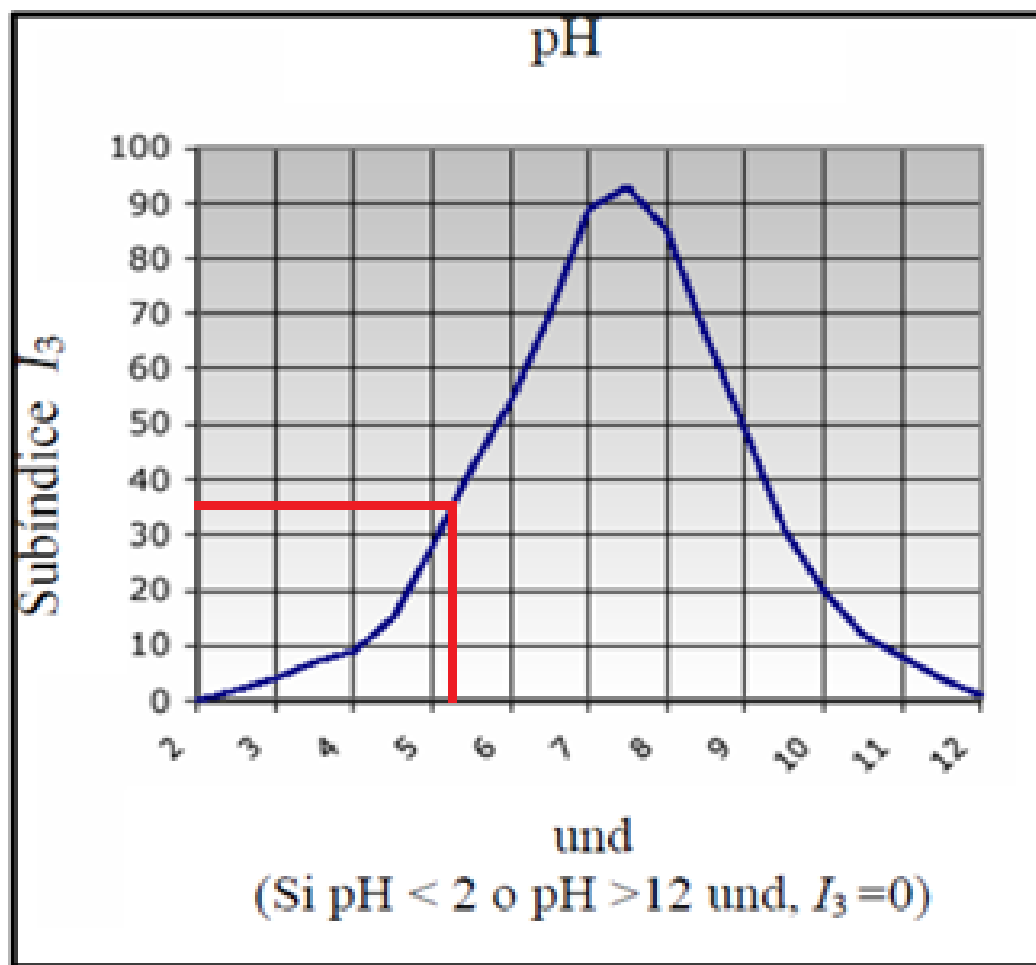


Figura 13. Determinación del subíndice en función del pH. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 54), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Cuando el valor del pH está por debajo de 2 o por encima de 12 und, el (Q_i) será igual a 0, en caso de estar dentro de este rango, buscamos el valor en el eje X, se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En este caso realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Q_i igual a 35.

El procedimiento para el cálculo del subíndice de los nitratos se resume a la siguiente interpretación:

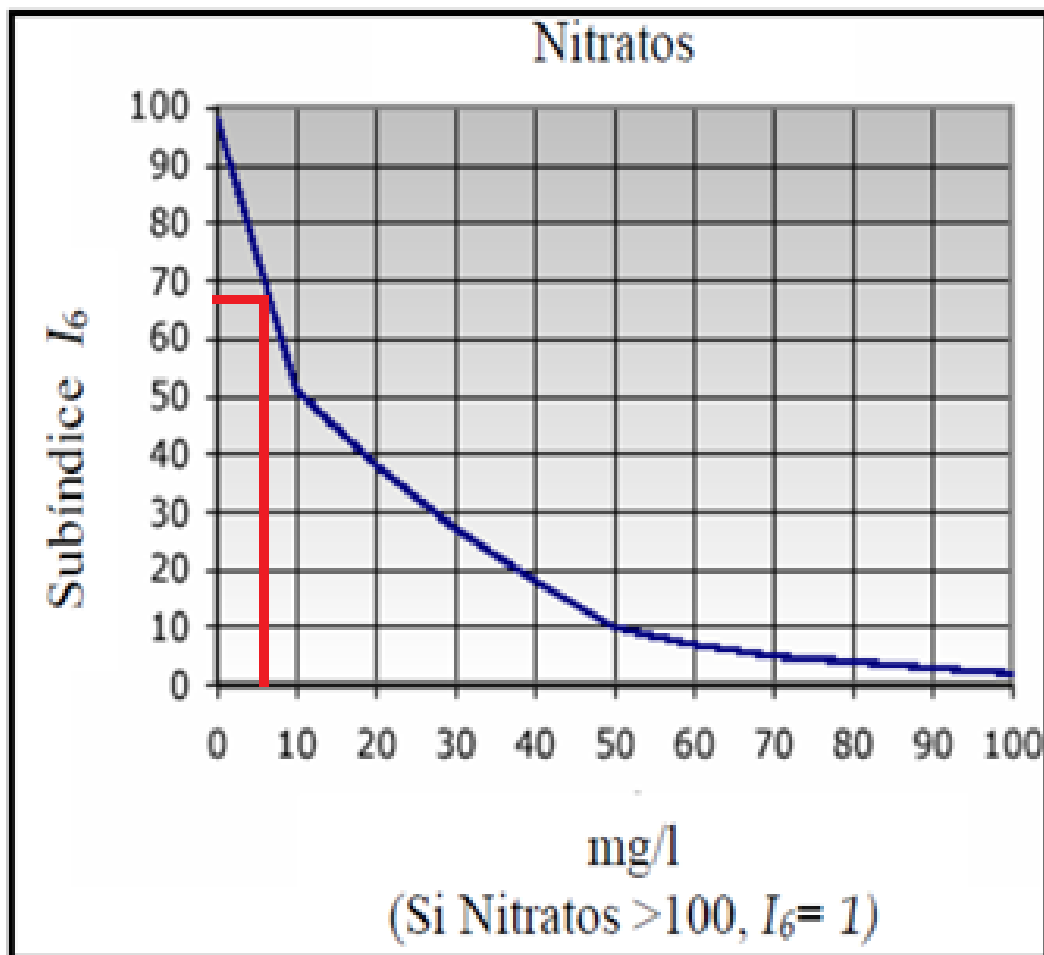


Figura 14. Determinación del subíndice en función de los Nitratos. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 55), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

A la hora de evaluar los nitratos dentro de la curva hay que tomar en cuenta que si este parámetro sobrepasa los 100 mg/l el valor del subíndice Q_i será igual a 1. De encontrarse entre 0 y 100 mg/l, ubicamos el valor en el eje X, luego se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En el caso de este estudio realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Q_i para este parámetro igual a 68.

Para hallar el subíndice de los fosfatos se procedió de la siguiente manera:

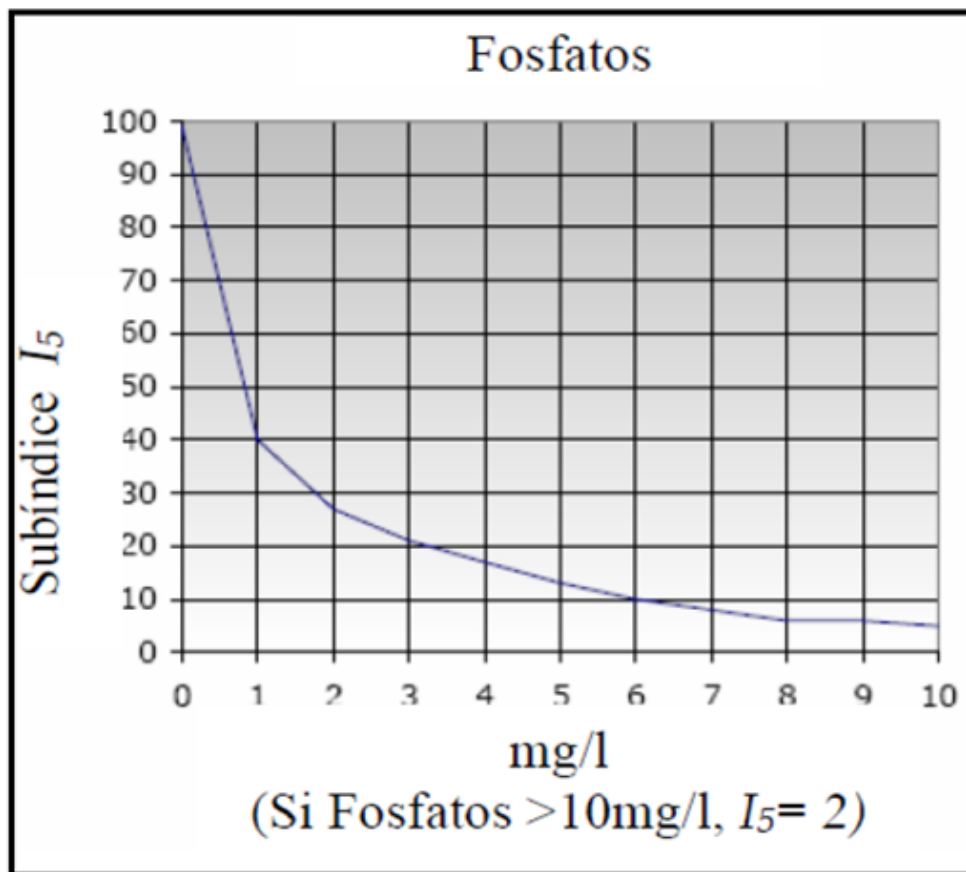


Figura 15. Determinación del subíndice en función de los Fosfatos. Tomado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 55), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

La condición para esta gráfica radica en que si el valor de los fosfatos es mayor que 10 mg/l el valor del subíndice Q_i será igual a 2, como sucede en el caso de este estudio debido a que el valor del fosfato alcanzó 41 mg/l. En el caso de que se hubiera obtenido un valor menor a 10 mg/l se procede a buscar en la gráfica el valor del subíndice.

En el caso de la temperatura, el Q_i se calcula de la siguiente manera:

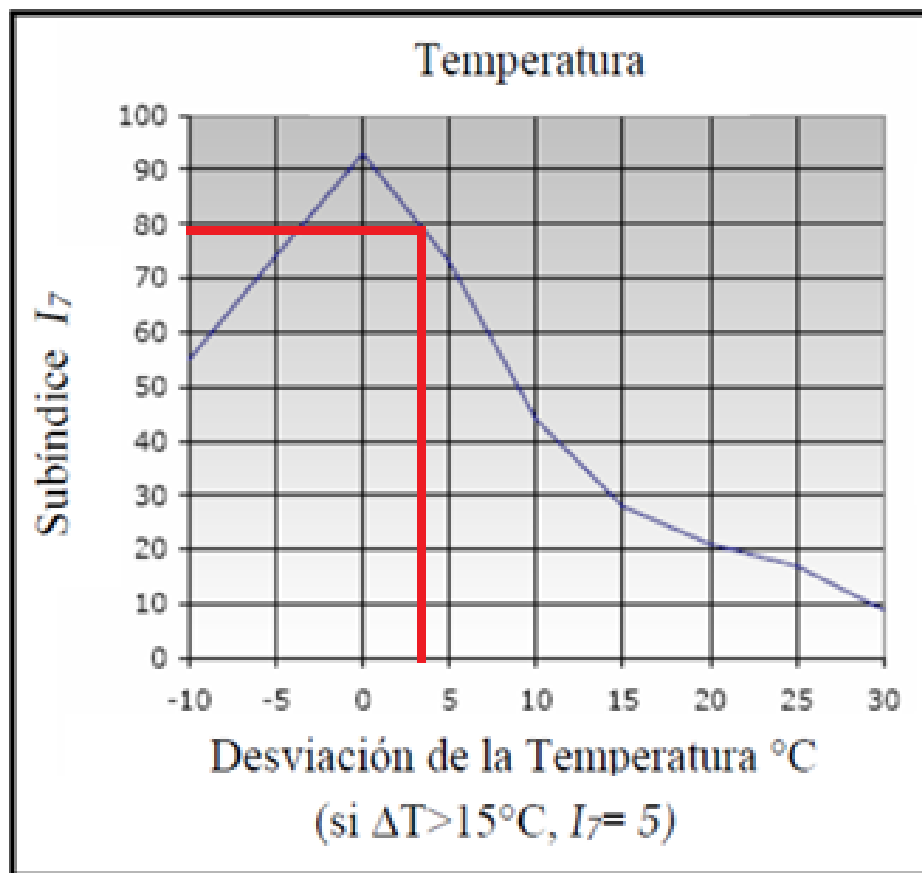


Figura 16. Determinación del subíndice en función de la Variación de Temperatura. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 56), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Con la variación de la temperatura podemos saber si sobrepasa los 30 °C, de ser así el valor del subíndice Q_i será igual a 5, caso contrario se procederá buscar en el eje X el valor de dicho parámetro, luego se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En este caso realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Q_i para este parámetro igual a 79.

El procedimiento que se utilizó para la obtención del valor de los subíndices de los parámetros microbiológicos es el siguiente:

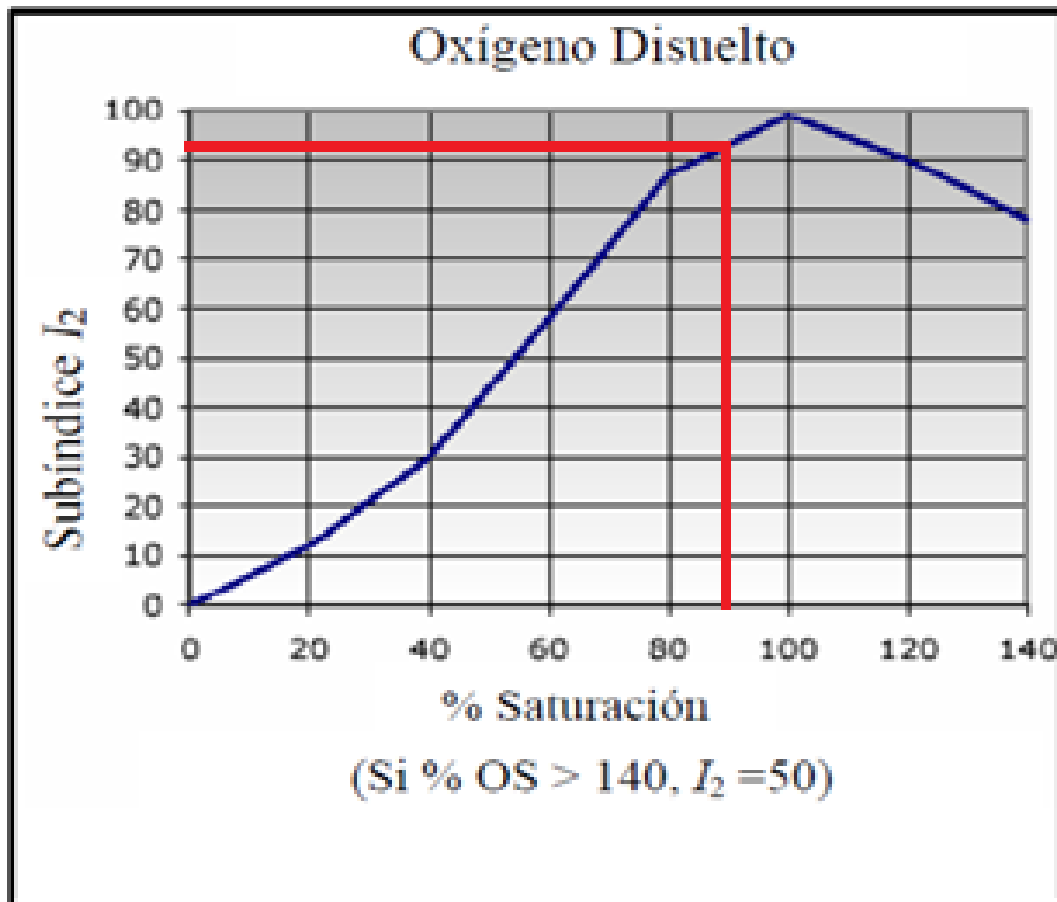


Figura 17. Determinación del subíndice en función del % de Saturación del OD. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 53), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

En el caso del oxígeno disuelto se tuvo que calcular el porcentaje de saturación de OD en el agua, mediante una regla de tres simple utilizando la tabla del anexo D, ya que a la hora de realizar la medición con el oxímetro del laboratorio, este arrojó valores en mg/l y la gráfica trabaja con el porcentaje de saturación. Al analizar la gráfica ubicando el porcentaje de OD se debe verificar si el valor excede el 140%, de ser así el subíndice tomara un valor de 50, caso contrario, se debe buscar en el eje X el valor de dicho parámetro, luego se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En este caso realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Qi para este parámetro igual a 91.

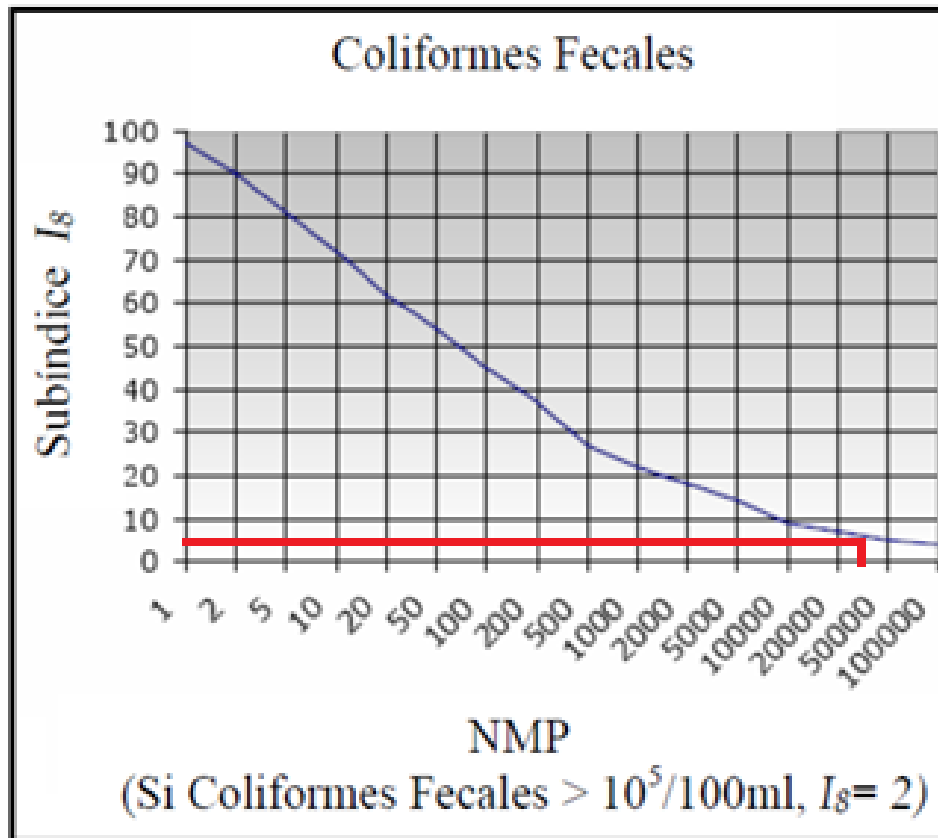


Figura 18. Determinación del subíndice en función de los Coliformes Fecales. Adaptado de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 56), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

El subíndice de los coliformes fecales será igual a 2, si el valor sobrepasa los 100000 NMP/100 ml, en caso contrario, se debe buscar en el eje X el valor de dicho parámetro, luego se desplaza de forma recta y vertical hasta intersectar la curva y seguidamente leemos el valor obtenido en el eje Y. En este caso realizando este procedimiento se obtuvo un valor de Q_i para este parámetro igual a 4.

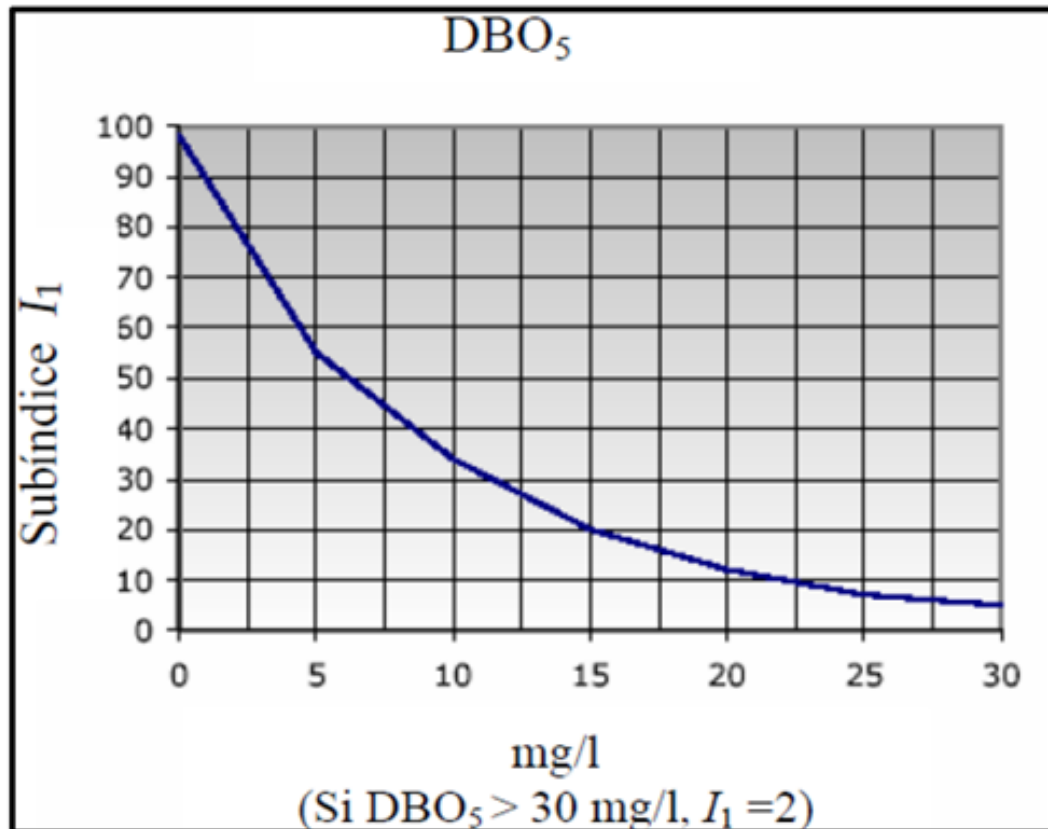


Figura 19. Determinación del subíndice en función de la DBO_5 . Tomando de *Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF de los Ríos Mazar Y Pindilig*, (p. 52), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

En el caso de que la demanda bioquímica de oxígeno exceda los $30mg/l$, se asume un subíndice igual a 2, caso contrario, se procede a buscar en la gráfica el valor del DBO en el eje (X), seguidamente se intercepta la curva de manera vertical y en línea recta, para luego leer el valor en el eje (Y), el cual será el subíndice del

parámetro. En este caso el valor de la DBO es mayor a 30 mg/l, por lo tanto el subíndice (Q_i) será igual a 2.

En este punto de la investigación, ya con los valores de los subíndices para cada parámetro, junto con los pesos relativos seleccionados de cada uno de ellos, el procedimiento se resume a la aplicación del modelo matemático para la determinación del índice de calidad de agua en el Lago Macagua. Se aplicó la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{ICA Macagua} = \sum_{i=1}^8 q_i w_i$$

$$\text{ICA Macagua} = q_{\text{OD}}w_{\text{OD}} + q_{\text{CF}}w_{\text{CF}} + q_{\text{DBO}}w_{\text{DBO}} + q_{\text{pH}}w_{\text{pH}} + q_{\text{SST}}w_{\text{SST}} + q_{\text{NO}_3}w_{\text{NO}_3} \\ + q_{\text{PO}_4}w_{\text{PO}_4} + q_{\text{T}}w_{\text{T}}$$

$$\text{ICA Macagua} = (91 * 0,18) + (4 * 0,16) + (2 * 0,11) + (35 * 0,13) + (80 * 0,09) \\ + (68 * 0,11) + (41 * 0,11) + (79 * 0,11)$$

$$\text{ICA Macagua} = 49,7$$

Realizando una observación del resultado que arroja la aplicación del índice de calidad de agua en el lago Macagua, se evidencia un color “naranja”, característico de una contaminación intermedia con tendencia a una leve disminución de su calidad. Si interpretamos un poco el índice obtenido podemos clasificar los usos a los cuales está limitado el embalse.

En lo que respecta a abastecimiento público, para consumo humano es necesario un tratamiento potabilizador, propio de un índice dentro los límites 50 y 26. Si consideramos actividades como la pesca y la abundancia de la vida acuática hay que tomar en cuenta que la biodiversidad se encuentra limitada a un cierto número de especies muy resistente. Para efectos de las actividades de recreación como el uso de

balnearios y actividades subacuáticas, existen riesgos, puesto que el agua no se encuentra completamente apta para dichos usos, sin embargo puede aceptarse la navegación mediante embarcaciones que impidan un contacto prolongado con el agua.

Tabla 5.


Clasificación de la calidad del agua para múltiples usos

USO: Pesca y vida acuática	Pesca y vida acuática abundante	Límite para peces muy sensitivos	Dudosa la pesca sin riesgos de salud	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	Inaceptable para la actividad pesquera	Inaceptable para la vida acuática							
Criterio general													
ICA	100	71	70	61	60	51	50	41	40	31	30		0
USO: Industrial	No requiere purificación	Ligera purificación para industrias de alta calidad	Utilizable en la mayoría de las industrias	Tratamiento Requerido para la mayoría de los usos	Uso restringido	Inaceptable para cualquier industria							
Criterio general													
ICA	100	91	90	71	70	51	50	31	30	21	20		0
USO: Agricultura	No requiere purificación	Ligera purificación para cultivos de alta calidad	Utilizable en la mayoría de los cultivos	Tratamiento Requerido para la mayoría de los cultivos	Uso sólo en cultivos muy resistentes	Inaceptable para el riego							
Criterio general													
ICA	100	91	90	71	70	51	50	31	30	21	20		0
USO: Recreativo	Apto para cualquier tipo de deporte acuático	No apto para deportes de inmersión	Dudosa para el contacto con el agua	Evitar el contacto, sólo con lanchas	Contaminación visible, evitar cercanía	Inaceptable para recreación							
Criterio general													
ICA	100	71	70	51	50	41	40	31	30	21	20		0

Nota: Adaptado de *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*, (p. 82), por N. Fernandez y F. Solano, 2005, Colombia. Derechos reservados por la Universidad de Pamplona.

Tabla 4.

Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al modelo NSF

USO: Abastecimiento Público	No requiere purificación	Ligera purificación	Consumo dudoso sin purificación	Tratamiento potabilizador	Dudosa para consumo					
Criterio general										
ICA	100	91	90	71	70	51	50	26	25	0

Nota: Adaptado de Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindiling, (p. 58), por M. Carrillo y P. Urgilés, 2016, Ecuador. Derechos reservados por María Carrillo y Paola Urgilés.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

En relación a la determinación del modelo para el cálculo del ICA, a lo largo de los años a nivel mundial, se han creado y aplicado un gran número de métodos, con el fin de dar respuesta a las condiciones de calidad de agua de los recursos hídricos, pero cada uno de ellos en su mayoría adaptados a condiciones particulares, que son diferentes a las que presenta Macagua. Sin embargo se logró adaptar uno de los modelos para el cálculo del ICA, este fue el planteado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica (ICA- NSF), que permitió el desarrollo de esta investigación.

Es resaltante acotar que numerosos trabajos de importancia mundial fueron realizados bajo este modelo, por esto se puede mostrar su confiabilidad, adaptándose a distintas condiciones en el medio donde se requiera emplear, así como también la inclusión de varios parámetros de calidad del agua comunes para el estudio del estado del recurso hídrico, lo que permitió cualificar y cuantificar el nivel de deterioro o estado de contaminación del embalse, en referencia a sus condiciones generales y no a contaminantes o valores de parámetros particulares.

De esta manera en comparación con otros índices de calidad de agua, representó una disminución significativa en lo que respecta al ahorro de los recursos económicos y materiales, debido al menor número de parámetros que empleó este modelo.

Asimismo, el modelo seleccionado tiene la capacidad de ser flexible, debido a que no es imprescindible contar con todos los parámetros que lo componen para

obtener el valor de la calidad del agua en el embalse, lo que generó que este método se aprovechara correctamente.

Con respecto a la selección de los parámetros a utilizar en el modelo, como producto de la aplicación de este método se pudieron fijar los parámetros a utilizar en el mismo, en referencia a las estaciones estudiadas en el embalse Macagua, en correlación con las variables empleadas por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de Norteamérica. Al poseer un número reducido de parámetros asociados a los subíndices que se aplican en este modelo, se da lugar a que a la hora de aplicarlo, se obtengan resultados prominentemente representativos, en consecuencia de que las variables que lo conforman se complementan unas a otras.

En referencia a los pesos relativos es importante resaltar que si no se cuenta con alguna variable para la determinación y análisis del índice de calidad de agua, no dificulta su aplicación, en relación a que es factible una reasignación de los pesos relativos, adicionando la porción de la variable faltante en partes iguales a peso de los otros parámetros.

En el momento de implementar el método, el embalse Macagua fue sometido al análisis mediante el cual se utilizó el ICA-NSF, lo que dió a conocer la calidad del cuerpo de agua mediante un color y un valor único dentro de un rango de valores. Al manejar un valor de 49,7 en el índice de calidad de agua, enfatiza la realidad del deterioro que presenta el agua en el embalse, limitando ciertas actividades y procesos que pudieran desenvolverse en el recurso hídrico, si hubiera un equilibrio acuático y una calidad aceptable.

Se puede concluir también que los indicadores de calidad de agua son de gran importancia para el manejo y monitoreo de un cuerpo de agua, debido a que dan a conocer la situación actual del recurso, influyendo de manera positiva en la detección

de las variaciones en la calidad del agua, lo que aporta información considerable para las entidades que están a cargo del manejo del embalse.

Además este índice es perfectamente aplicable en cualquier época del año así como también en cualquier punto que se requiera determinar el índice de calidad de agua. Esta información da lugar a futuros proyectos de investigación para una correcta gestión del embalse Macagua y permitirá analizar otros índices de contaminación

Es relevante destacar que este trabajo especial de grado promueve al desarrollo sustentable, puesto que si se refiere a ello, se parte desde el principio que tiene que existir una interrelación entre el desarrollo económico, desarrollo social y desarrollo ecológico.

Esto se constata mediante el hecho de que este método va de la mano con la simplificación de materiales y conlleva a un ahorro económico, a su vez sirve para dar a conocer a las personas en general el estado en que se encuentra la calidad del agua en el embalse y en definitiva promueve la concientización por preservar el embalse para disminuir el nivel de contaminación del valioso recurso.

Se tiene como expectativa que este índice de calidad de agua desarrollado, se pueda emplear en un futuro cercano como un instrumento útil para informar y promover la concientización al público en general en este y otros embalses de Venezuela.

Recomendaciones

Para efectos de completar este trabajo de investigación se presenta una serie de recomendaciones que se presentan a continuación:

- Si bien en esta investigación se trabajó con parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, es relevante estudiar la factibilidad de adicionar un indicador biológico representativo de Macagua, que hace referencia a la incidencia ictícola, específicamente de peces de carácter omnívoros oportunistas como el comúnmente llamado “torneado” o “mije” (*Leporinus fasciatus*), debido a que este tipo de peces están directamente relacionados con el deterioro de la calidad del agua.

También es resaltante acotar que el número de peces de este tipo se encuentran en mayor proporción en las cercanías de las descargas de aguas servidas sobre la margen izquierda del embalse Macagua, debido a que aprovechan los desperdicios orgánicos como por ejemplo heces fecales, para alimentarse. En contra partida a esto, también es importante evaluar la cantidad de peces carnívoros como el Pavón (*Chichla Temensis*) y la Guabina (*Hoplias Malabáricus*) y su localización en el embalse, puesto que la abundancia y desarrollo de estos, están estrechamente relacionados las zonas con una mejor calidad de agua.

- Se recomienda estudiar mediante una correlación la incidencia del caudal y la velocidad del viento en la calidad del agua, factores que están influenciados por las épocas de sequía y de lluvia.
- Debido a que la toma de muestras y análisis de los parámetros microbiológicos empleados en esta investigación tienen una incertidumbre pronunciada, puesto que se pudieron realizar solo dos expediciones para

recolectar los analitos, es importante que los entes encargados realicen estudios de muestreos actualizados y profundicen la investigación, a fin de corroborar dichas mediciones y complementar este trabajo, disminuyendo la incertidumbre en los datos mediante procesos estadísticos.

- Es necesario realizar un previo tratamiento a las vertientes que recolectan las aguas servidas de la ciudad antes de ser descargadas en el embalse, para así promover el proceso de mitigación de los contaminantes que influyen en el deterioro de la calidad del agua.
- Se recomienda promover campañas de concientización basándose en este estudio, así como también continuar con esta investigación para dar a conocer la situación actual del embalse y el constante deterioro de la calidad del agua al cual está sometido.

Referencias

García, T. (2012). *Propuesta De Índices De Calidad De Agua Para Ecosistemas Hídricos De Chile. Trabajo Especial de Grado*. Universidad De Chile, Santiago De Chile.

Mancera, P. (2017). *Obtención De Un Índice De Calidad De Agua (Ica) Para Las Ciénagas Que Forman Parte De La Zona Inundable Del Río Magdalena En El Departamento Del Atlántico – Colombia, A Través De La Aplicación Del Método Delphi*. Universidad Internacional de Andalucía, España.

Carrillo, M. Urgilés, P. (2016). *Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica- Nsf De Los Ríos Mazar Y Pindilig*. Universidad de Cuenca, Ecuador.

Camacho, A. Giles, M. Ortégón, A. Palao, M. Serrano, B. y Velázquez O. (2009). *Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP)*. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

Fernandez, N. Solano, F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp.

Castro, M. Almeida, J. Ferrer, J. Díaz, D. (2014). *Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global*. Recuperado de Facultad de Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>.

Campero, A y Linares, L. (2015). *La pluma de contaminantes del canal de aguas pluviales de los olivos y su influencia en la calidad del agua del Embalse de Macagua*, Trabajo Especial de Grado. Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Rodríguez, E. Chacón, M. (2010). *Evaluación Espacio-Temporal de Especies Bacterianas en el Embalse Macagua (Abril 1997 – Noviembre 2009)*. Gerencia De Gestión Ambiental, Departamento De Gestión De recursos Hídricos CVG EDELCA. Venezuela.

Espinosa, T. Rodríguez C. (2016). *Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela*. Recuperado de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v23n2/art10.pdf>

Cadavid, J. Echeverri, J. Gómez, A. (2010). *Modelación índices de calidad de agua (ICA), en las cuencas de la región Cornare. Volumen 13. Pag. 7 – 24.*

Altamirano, M (2013). *Estudio Hidroquímico y De Calidad Del Agua Superficial En La Cuenca Del Rio Mira*. Tesis. Universidad Central Del Ecuador, Quito.

Torres F. (2009). *Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico*. Tesis. Universidad De Puerto Rico. Puerto Rico.

Anexos

Anexo A
Toma de muestras



Figura 1: Estaciòn Morocure – Embalse Macagua.



Figura 2: La Orchila – Embalse Macagua.



Figura 3: La Orchila – Embalse Macagua.




Figura 4: Tesistas realizando la toma de muestras– Embalse Macagua.



Figura 5: Contenedores de muestras

Anexo B
Ensayo Coliformes Fecales

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-018	
			VIGENCIA: 12-11-11	02
			DOCUMENTO	
			01-07-12	01
		CODIGO	LICPIS-17	

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

EC BROTH	Sustancia No Peligrosa.	Contacto con los ojos: lave con abundante agua. Tras inhalación: tomar aire fresco. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consulte al médico.
INDICADOR BROMOCRESOL PURPURA	Sustancia No Peligrosa.	Contacto con los ojos: lave con abundante agua. Tras inhalación: tomar aire fresco. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consulte al médico.

Nota: Para cualquier otra información consultar las **fichas de seguridad** de cada reactivo ubicadas en el laboratorio y también pueden consultar la norma **Covenin 2670: 2012 Materiales Peligrosos. Guía de respuestas a emergencias.**

8.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL


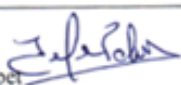
8.1.- Muestreo


Las muestras para el análisis bacteriológico, se deben tomar en frascos bien lavados y esterilizados, en su interior añadir, previo a la esterilización, 0,1 ml de Na_2SO_4 (Tiosulfato de Sodio) al 10 % por cada 120 ml de muestra con el propósito de neutralizar la acción del cloro que pudiera contener la muestra, cubriendo además el tapón del frasco hasta el cuello con papel Aluminio.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección, de no ser así debe refrigerarse a 4°C , si hay que transportarla que no exceda el lapso de 6 horas para ser analizada. En caso extremo solo si se trata de agua potable se podrá analizar en un lapso de 24 horas.

8.2.- Prueba presuntiva para Aguas potables

8.2.1.- Coloque una serie de diez o cinco tubos de fermentación de 20 ml, previamente esterilizados, con 10 ml de caldo lactosado (concentración doble), con 1 tubo Durham invertido, ó prescindir de los viales invertidos añadiendo 0,01 g/l de bromocresol púrpura al medio presuntivo para determinar la producción de ácido, con cambio de color de morado a amarillo claro, lo que indicaría un resultado positivo de la prueba.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Taber 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-CC-018						
		<table border="1"> <tr> <td>REVISADO</td> <td>REVISOR</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01 - 01-19</td> <td>01</td> <td>02</td> </tr> </table>	REVISADO	REVISOR	FECHA	01 - 01-19	01	02
		REVISADO	REVISOR	FECHA				
		01 - 01-19	01	02				
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <td>REVISADO</td> <td>REVISOR</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01 - 01-19</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	REVISADO	REVISOR	FECHA	01 - 01-19				
REVISADO	REVISOR	FECHA						
01 - 01-19								
CÓDIGO		LICPIS-17						

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

8.2.2.- Agite la muestra vigorosamente 25 veces o más. Inocule cada tubo con 10 ml de muestra, Incube durante 24 horas a la temperatura de $35 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$; examine cada tubo al cabo de este tiempo y si no se ha producido gas examínelos nuevamente al cabo de 48 horas.

8.2.3.- La formación de alguna cantidad de gas o reacción ácida (turbiedad) o cambio de color por fermentación de morado a amarillo claro en cualquier tubo de las series dentro de las 24- 48 horas, constituye una prueba presuntiva positiva.

8.2.4.- La ausencia de gas y de turbiedad ni cambio de color, por reacción ácida en los tubos al cabo de 48 horas de incubación constituye una prueba presuntiva negativa.

8.3. Prueba presuntiva para aguas no Potables (naturales, industriales y residuales)



8.3.1.- Para este tipo de muestra se inoculan una serie de tubos de ensayo con adecuadas diluciones decimales crecientes de la misma, teniendo en cuenta la densidad bacteriana más probable, en cada uno de los tubos de ensayos se agrega 9 ml de la solución amortiguadora de fosfatos, tome tres o más tubos, de acuerdo a la cantidad de diluciones, que vaya a efectuar y empiece agregando 1 ml de muestra al primer tubo, décimo (0,10), tome 1 ml del tubo anterior y agregue al segundo tubo, centésimo (0,01), tome 1 ml del segundo tubo y agregue al tercer tubo milésimo (0,001), prepare la siguiente dilución agregando siempre 1 ml del tubo anterior y así sucesivamente, hasta lograr una serie de tubos donde se obtengan resultados negativos de coliformes totales.


8.3.2.- Prepare tres series con mínimo, 3 tubos, preferiblemente 5 tubos si quiere obtener valores de NMP válidos estadísticamente, con 10 ml de caldo lactosado (concentración simple), Inocule cada serie de tubos con 1 ml de cada una de las diluciones que se le realizaron a la muestra original.

8.4 Prueba presuntiva para otro tipo de muestras

8.4.1.- La técnica de fermentación en tubo múltiple es aplicable al análisis de aguas saladas o salobres y a lodos, sedimentos y fangos. Ténganse en cuenta las precauciones antes aludidas sobre el tamaño de las porciones y el número de tubos por dilución.

8.4.2.- Para preparar muestras sólidas o semisólidas, pésese la muestra y añádase al líquido de dilución hasta conseguir una de 10^{-1} , Por ejemplo, introdúzcanse 50 gr de muestra en una jarra mezcladora estéril, añádanse 450 ml de tampón de fosfato estéril y mézclese durante 1 a 2 minutos a baja velocidad (800 rpm). Prepárense las diluciones decimales correspondientes del homogeneizado resultante lo antes posible para reducir al mínimo la sedimentación.,

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-CC-018
			VERSIÓN: 02
	DOCUMENTO		
	VERSIÓN: 01	REVISIÓN: 01	FECHA: 01-07-12
	CÓDIGO: UCPCIS-17		

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

8.5.- Prueba confirmativa de coliformes totales para Aguas Potables, No Potables (Naturales, Industriales y Residuales)

8.5.1.- Llévense a la fase de confirmación todos los tubos primarios en los que haya aparecido cualquier cantidad de gas o crecimiento ácido a las 48 horas, de incubación, si se observa una fermentación activa y crecimiento ácido en las primeras 24 horas los tubos se llevarán al medio de confirmación sin esperar a que transcurran las siguientes 24 horas.

8.5.2.- Encienda el mechero de gas o alcohol para mantener una atmósfera estéril y esterilice el asa de platino hasta el rojo y deje enfriar, o utilice un aplicador de madera estéril en el cultivo de al menos 2,5 cm. el cual debe ser desechado, después de cada inoculación. Mezcle el tubo de fermentación positivo con un movimiento rotatorio. Suficiente para que se produzca una resuspensión de los microorganismos


8.5.3.- Tome los tubos por su base, tanto el de fermentación positiva como el de bilis verde brillante que va a ser inoculado, sosténgalos con la mano izquierda y destape ambos con la derecha. Flamee la boca de los tubos y rápidamente introduzca el asa en el tubo de fermentación positivo, ahora pásese el asa al tubo de bilis verde brillante que va a ser inoculado, realice esta operación dos veces.

8.5.4.- Flamee de nuevo la boca de los tubos y tápelos. Esterilice el asa e Incube los tubos inoculados del caldo lactosado bilis verde brillante a $35 (\pm 0,5) ^\circ\text{C}$ por 48 horas.

8.5.5.- La presencia de turbiedad y de gas en el vial invertido en el medio de fermentación verde brillante de lactosa bilis a las 48 ± 3 horas de incubación constituye un resultado positivo en la fase confirmatoria. Calcúlese el valor del NMP a partir del número de tubos positivos, de la manera descrita en el punto 9.2 (cálculo y registro del NMP).

8.5.6.- **Procedimiento alternativo:** Utilícese únicamente en aguas contaminadas o residuales que se sepan presenten sistemáticamente resultados positivos. En caso de que todos los tubos sean positivos en dos o más diluciones consecutivas durante 24 horas, llévense solo a la fase confirmatoria aquellos con diluciones más altas (menor muestra de inóculo) y todos los que presenten gas o crecimiento ácido después de las 48 horas.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería CIVIL Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-01/B
			VERSIÓN: 01
	DOCUMENTO		FECHA: 12-11-11
	VERSIÓN: 01	REVISIÓN: 01	CÓDIGO: LICPIS-17

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

8.6.-Prueba de Coliforme Fecal (medio EC)

8.6.1.- Estúdiense todos los tubos de fermentación presuntivos que hayan mostrado alguna cantidad de gas o un fuerte crecimiento durante las 48 horas de incubación en la prueba de confirmación se puede realizar simultáneamente, la inoculación de los tubos positivos en medio de verde brillante, para la prueba confirmativa y el medio EC para coliformes Fecales, para acortar el tiempo de obtención de los resultados.

8.6.2.- Agítense suavemente o gírense los tubos de fermentación que muestras gas o un fuerte crecimiento. Con un asa estéril de metal de 3 mm de diámetro o un aplicador de madera estéril, pásese el cultivo de cada tubo de fermentación al medio EC. Incúbense los tubos con medio EC inoculados en un baño de agua a $44,5 \pm 0,2$ °C durante 24 ± 2 horas.

8.6.3.- Depositense todos los tubos con EC en un baño de agua antes de que transcurran 30 minutos de la inoculación y manténgase a una profundidad suficiente como para que el agua del baño esté a un nivel superior al que tiene el medio en los tubos

8.6.4.- La presencia de turbiedad y de gas en el tubo Durham invertido del tubo de fermentación a las 24 horas o menos de incubación se considera una reacción positiva que indica la presencia de organismos coliformes de origen fecal, la falta de gas (a veces se produce crecimiento) constituye un resultado negativo, que indica que el origen de los microorganismos no es el aparato digestivo de los animales de sangre caliente, El NMP en los tubos con medio EC Positivos se calcula según la forma descrita en el punto 9.2 (Cálculo y registro del NMP).

9.- ESTIMACION DE LA DENSIDAD BACTERIANA:


9.1.- Precisión de la prueba

A menos que se analicen una gran cantidad de muestra la precisión en los tubos de fermentación es lamentablemente baja. Por ejemplo aun cuando la muestra contenga 1 organismo coliforme/ml al menos 37% de 1 ml de muestra se espera que den resultados negativos, debido a la distribución aleatoria de las bacterias en la muestra. Cuando en estas condiciones se utilizan cinco tubos, cada uno con 1 ml de la muestra se puede esperar un resultado completamente negativo en alrededor de 1 por 100 de las ocasiones.

9.2.- Cálculo y registro del NMP

Calcúlese y regístrese el número de hallazgos positivos de microorganismos del grupo coliforme (ya sea en pruebas confirmatorias o completas) en términos del número más probable. Las tablas N° 3, 4, 5 y 6 que están en los anexos II, III y IV indican los valores

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabel
--	---

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-018	
			VIGENCIA:	REVISIÓN:
			01 - 12 - 11	01
			DOCUMENTO	
VIGENCIA:	REVISIÓN:			
01 - 07 - 12				
CODIGO		LICPIS-17		

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

del NMP para distintas series de siembras y resultados. En estas tablas se contemplan límites de confianza del 95 % para cada valor del NMP. Si utilizó estos volúmenes de muestra que están contenidos en la tabla, reporte el valor correspondiente al número de resultados positivos y negativos en las series en forma de NMP/ 100 ml



Los volúmenes de las muestras indicados en las tablas N° 3 y 4 están relacionados de forma más específica con volúmenes fijos y se utilizan para agua potable. . Las tablas N° 5 y 6 ilustra los valores del NMP para combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se estudian volúmenes de tres a cinco muestras de 10, 1 y 0,1. En caso de que las series de diluciones decimales sean distintas de las de la tabla, selecciónense los valores del NMP de las tablas N° 5 y 6 por la combinación de tubos positivos calculándose de acuerdo a la siguiente fórmula:


$$\frac{\text{Valor del NMP (de la tabla)} \times 10}{\text{Mayor volumen de muestra estudiado}} = \text{NMP /100}$$

Cuando se utilicen más de tres diluciones en series decimales, solo se tomarán los resultados de tres de ellas para calcular el NMP. Para seleccionar las tres diluciones a utilizar en la determinación del índice del NMP, elíjase la dilución mas alta con resultado positivo entre las cinco estudiadas (no hay ninguna dilución menor que haya dado un resultado negativo) y las dos siguientes diluciones más altas, utilícense los resultados de estos tres volúmenes. Vea en los siguientes ejemplos como se realiza el cálculo del índice del NMP.

Ejemplo	10 ml	1 ml	0.1 ml	Combinación de tubos positivos	Indice de NMP/100 ml
A	0/5	0/5	1/5	0- 0-1	2

Ejemplo	1 ml	0.1 ml	0.01ml	0.001 ml	Combinación de tubos positivos	Indice de NMP/100 ml
B	5/5	5/5	2/5	0/5	5-2-0	50 x 100
C	5/5	4/5	2/5	0/5	5-4-2	220 x10
D	0/5	1/5	0/5	0/5	0-1-0	2 x 10

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-016
		VERSION: Revisión No. 06 - 12-11 -15 02
		DOCUMENTO
		VERSION: Revisión No. 01 - 07-12
CÓDIGO		LCPIS-17

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

Ejemplo	1 ml	0.1 ml	0.01ml	0.001 ml	Combinación de tubos positivos	Indice de NMP/100 ml
E	5/5	3/5	1/5	1/5	5-3-2	140 x 10
F	5/5	3/5	2/5	0/5	5-3-2	140 x 10

Ejemplo	0.1 ml	0.01 ml	0.001 ml	Combinación de tubos	Indice de NMP/100 ml
Para 3 Tubos	3/3	1/3	1/3	3-1-1	75 x100

Si se desea resumir en un solo valor de NMP los resultados de una serie de muestras se recurrirá a la media geométrica o la mediana

En las tablas N° 5 y 6, Se muestra las combinaciones de tubos positivos más probables. Si aparecen combinaciones poco probables con una frecuencia superior al 1 por 100, hay que pensar que la técnica es inadecuada o que no se ha cumplido por completo el supuesto estadístico en que se basa el cálculo del NMP. El NMP para combinaciones que no aparecen en la tabla, o para otras combinaciones de tubos o diluciones puede calcularse mediante la sencilla fórmula de Thomas.

5 tubos de dilución


$$NMP/100 \text{ mL} = \frac{N^{\circ} \text{ tubos positivos} \times 100}{\sqrt{(\text{ml de muestra en todos tubos negativos}) \times (\text{ml de muestra en todos tubos positivos})}}$$

Aunque los cálculos del NMP se facilitan para su uso en la prueba de coliformes, también son aplicables para determinar el NMP de cualquier otro microorganismo, siempre que se disponga de los medios adecuados.

10.- PRUEBA DE PRESENCIA-AUSENCIA (P-A) DE COLIFORMES

La prueba de presencia –ausencia (P-A) de coliformes es una sencilla modificación del procedimiento de tubos múltiples. La simplificación que se deriva de utilizar una sola porción grande (100 ml) en una sola botella de cultivo para obtener una información cualitativa sobre la presencia o ausencia de coliformes, se justifica por la teoría de la falta de estos microorganismos en una muestra de 100 ml de agua potable.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
--	---

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-016
			VERSIÓN: 02
	DOCUMENTO		
	VERSIÓN: 01	REVISIÓN: 11	FECHA: 07-12
CÓDIGO			LICPIS-17

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

La prueba P-A proporciona además una oportunidad opcional para hacer una detección sistemática posterior del cultivo y aislar otros indicadores (coliformes fecales, Aeromonas, Staphylococcus, Pseudomonas, estreptococos fecales, y clostridium) también de manera cualitativa.

10.1. PROCEDIMIENTO:

Agítase la muestra unas 25 veces e inocúlense 100 ml de muestra en una botella de 250 ml donde previamente ha colocado 50 ml medio de cultivo esterilizado en autoclave a 121 ° C. Mézclase cuidadosamente invirtiendo la botella cuatro o cinco veces para conseguir una distribución uniforme del medio en la totalidad de la muestra. Incúbese a 35 °C ± 0,5 ° C y obsérvese a las 24 horas y 48 horas después para detectar posibles reacciones ácidas. Cuando se producen, la fermentación de la lactosa adquiere un color amarillo claro y gas, la suave agitación de la botella producirá espuma. Cualquier cantidad de gas, ácido o ambos constituye un resultado presuntamente positivo que requiere confirmación. Todos los cultivos que muestran reacción ácida o formación de gas se pasan a un medio de verde brillante lactosa Bilis (VBLB) que se incuba a 35 ± 0,5 ° C.

10.2.- INTERPRETACION: La aparición de gas en el medio (VBLB) en 48 horas confirma la presencia de bacterias coliformes. Los resultados se comunican como prueba de presencia-ausencia positiva o negativa para coliformes totales en 100 ml de muestra.

10.3.- Pruebas opcionales de P-A


Se puede hacer detección de coliformes Fecales, estreptococos fecales u otras bacterias indicadoras se pueden hacer mediante una prueba de P-A, seleccionando adecuadamente los medios confirmatorios y el tiempo y temperatura de incubación.

11.- GESTIÓN DE DESECHOS GENERADOS EN LA PRÁCTICA

Durante la realización de práctica se generan los desechos de las soluciones preparadas, estos desechos se catalogan como peligrosos y no peligrosos según el Decreto 2635, G.O N° 5245 del 3 -08 – 1998 - y su ficha de seguridad, para ello lo siguiente:

11.1.- Desechos de soluciones de Caldo Lactosado: Los desechos de las soluciones de Caldo Lactosado no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-018						
		<table border="1"> <tr> <th>VICENTE</th> <th>REVISOR</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>01-12-11</td> <td>11</td> <td>02</td> </tr> </table>	VICENTE	REVISOR	FECHA	01-12-11	11	02
		VICENTE	REVISOR	FECHA				
		01-12-11	11	02				
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <th>VICENTE</th> <th>REVISOR</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>01-07-12</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	VICENTE	REVISOR	FECHA	01-07-12				
VICENTE	REVISOR	FECHA						
01-07-12								
CÓDIGO LICPIS-17								

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

11.2.- Desechos de soluciones de caldo bilis verde brillante: Los desechos de las soluciones de caldo bilis verde brillante no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad.

11.3.-Desechos de soluciones de Ec Broth: Los desechos de las soluciones de caldo Ec Broth no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad.


11.4.-Desechos de soluciones de fosfato monopotásico: Los desechos de las soluciones de caldo Ec Broth no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad.

11.5.-Desechos de soluciones de cloruro de magnesio hexahidratado: Los desechos de las soluciones de caldo Ec Broth no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad.

11.6.-Muestras Bacteriológicas: Una vez terminada la práctica se recolectan todos los desechos de las soluciones que puedan contener bacterias infecciosas y se tratan por métodos químicos, con compuestos clorados, o por método físico con calor esterilizando en autoclave, en este caso se deja enfriar y se diluye con agua y se deja correr por el desagüe que descarga a la planta de tratamiento de agua de la Universidad

Nota: Si durante la realización de la práctica algún material de vidrio se rompe o se daña, se deberá descartar en el recipiente especial para ello.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-018						
		<table border="1"> <tr> <th>VIGENCIA</th> <th>REVISIÓN</th> <th>Nº</th> </tr> <tr> <td>01 - 12-11</td> <td>01</td> <td>02</td> </tr> </table>	VIGENCIA	REVISIÓN	Nº	01 - 12-11	01	02
		VIGENCIA	REVISIÓN	Nº				
		01 - 12-11	01	02				
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <th>VIGENCIA</th> <th>REVISIÓN</th> <th>Nº</th> </tr> <tr> <td>01 - 07-12</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	VIGENCIA	REVISIÓN	Nº	01 - 07-12				
VIGENCIA	REVISIÓN	Nº						
01 - 07-12								
CÓDIGO		UCPIS-17						

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

ANEXOS

ANEXO I

Tabla 1 y 2 Preparación de medios de cultivo tomados de las tablas 9221:I y 9221: II del Estándar Método (Edición 17, 1989)


Tabla 1.- Preparación del medio líquido de Lactosa

Inóculo (ml)	Cantidad de medio en el tubo (ml)	Volumen del medio + Inóculo (ml)	Medio líquido de Lactosa deshidratado necesario (g/l)
1	10 o mas	11 o mas	35,6
10	10	20	71,2
10	20	30	53,4
100	50	150	106,8
100	35	135	137,10
100	20	120	213,60

Tabla 2.- Preparación del medio líquido de Lauryl Triptose

Inóculo (ml)	Cantidad de medio en el tubo (ml)	Volumen del medio + Inóculo (ml)	Medio líquido Lauryl Triptose deshidratado necesario (g/l)
1	10 o más	11 o más	13,0
10	10	20	26,0
10	20	30	19,5
100	50	150	39,0
100	35	135	50,1
100	20	120	78,0

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GCC-016						
		<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>04</td> <td>12-11-11</td> <td>02</td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	04	12-11-11	02
		VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA				
		04	12-11-11	02				
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>07-12</td> <td></td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	01	07-12			
VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA						
01	07-12							
CÓDIGO LICPIS-17								

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

ANEXO II

Tabla 3 y 4 Índices de MMP para varias combinaciones de resultados positivos y negativos, cuando se emplean 5 y 10 porciones con 10 ml de muestra de agua potable (Tabla 9221: III) y (Tabla 9221: IV) del Estándar Método (Edición 17, 1989)

Tabla 3.- Para 5 porciones de 10 ml de agua potable

N° de Tubos positivos	Índice NMP/ 100 ml	Límites de confianza de 95 %	
		Superior	Inferior
0	<2,2	0	6,0
1	2,2	0,1	12,6
2	5,1	0,5	19,2
3	9,2	1,6	29,4
4	16,0	3,3	52,9
5	>16,0	8,0	Infinito

Tabla 4.- Para 10 porciones de 10 ml de agua potable

N° de Tubos positivos	Índice NMP/ 100 ml	Límites de confianza de 95 %	
		Superior	Inferior
0	<1,1	0	3,0
1	1,1	0,03	5,9
2	2,2	0,26	8,1
3	3,6	0,69	10,6
4	5,1	1,3	13,4
5	6,9	2,1	16,8
6	9,2	3,1	21,1
7	12,0	4,3	27,1
8	16,1	5,9	36,8
9	23,0	8,1	59,5
10	>23,0	13,5	Infinito

REVISADO

Cargo: Técnico de Laboratorio

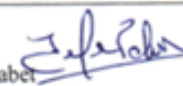
Firma: Isbel Talavera




APROBADO

Cargo: Director (a)

Firma: Djihad José Tabel



	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-016						
		<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>12-11</td> <td>11 02</td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	01	12-11	11 02
		VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA				
		01	12-11	11 02				
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>07-12</td> <td></td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	01	07-12			
VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA						
01	07-12							
CÓDIGO		LICPIS-17						

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

ANEXO III .- Tabla N° 5, Índice de NMP y límites de aceptación 95 % para distintas combinaciones de resultados positivos cuando se usan de 5 tubos: por dilución: (10 ml, 1,0 ml, 0,1 ml) (Tabla 9221:V) del estándar Método (Edición 17, 1989)

Combinación de Tubos Positivos	NMP/ 100 ml	95% de Confianza		Combinación de Tubos Positivos	NMP/ 100 ml	95% de Confianza	
		Inferior	Superior			Inferior	Superior
0-0-0	< 2	-	-	4-2-1	26	12	65
0-0-1	2	1,0	10	4-3-0	27	12	67
0-1-0	2	1,0	10	4-3-1	33	15	77
0-2-0	4	1,0	13	4-4-0	34	16	80
1-0-0	2	1,0	11	5-0-0	23	9,0	86
1-0-1	4	1,0	15	5-0-1	30	10	110
1-1-0	4	1,0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-1	6	2,0	18	5-1-0	30	10	120
1-2-0	6	2,0	18	5-1-1	50	20	150
				5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1,0	17				
2-0-1	7	2,0	20	5-2-0	50	20	170
2-1-0	7	2,0	21	5-2-1	70	30	210
2-1-1	9	3,0	24	5-2-2	90	40	250
2-2-0	9	3,0	25	5-3-0	80	30	250
2-3-0	12	5,0	29	5-3-1	110	40	300
				5-3-2	140	60	360
3-0-0	8	3,0	24				
3-0-1	11	4,0	29	5-3-3	170	80	410
3-1-0	11	4,0	29	5-4-0	130	50	390
3-1-1	14	6,0	35	5-4-1	170	70	480
3-2-0	14	6,0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-1	17	7,0	40	5-4-3	280	120	690
				5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5,0	38				
4-0-1	17	7,0	45	5-5-0	240	100	940
4-1-0	17	7,0	46	5-5-1	300	100	1300
4-1-1	21	9,0	55	5-5-2	500	200	2000
4-1-2	26	12	63	5-5-3	900	300	2900
4-2-0	22	9,0	56	5-5-4	1600	600	5300
				5-5-5	≥1600		

REVISADO

Cargo: Técnico de Laboratorio

Firma: Isbel Talavera




APROBADO

Cargo: Director (a)

Firma: Djihad José Tabet



	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-018
		VERSIÓN: 01 REVISIÓN: 02 FECHA: 12-11-11
		DOCUMENTO
		VERSIÓN: 01 REVISIÓN: 01 FECHA: 01-07-12
CÓDIGO LICPIS-17		

DETERMINACION DE COLIFORMES EN AGUAS

ANEXO IV.- Tabla N° 6 – Índice de NMP y límites de confianza 95 % para varias combinaciones de resultados positivos cuando se usan diluciones de 10 ml, 1 ml, 0,1 ml. Para 3 Tubos de dilución

Combinación de tubos Positivos	NMP/ 100 ml	95% de Confianza	
		Inferior	Superior
0-0-0	< 3		
0-0-1	3	<0,5	9
0-1-0	3	<0,5	13
1-0-0	4	<0,5	20
1-0-1	7	1	21
1-1-0	7	1	23
1-1-1	11	3	36
1-2-0	11	3	36
2-0-0	9	1	36
2-0-1	14	3	37
2-1-0	15	3	44
2-1-1	20	7	89
2-2-0	21	4	47
2-2-1	28	10	150
3-0-0	23	4	120
3-0-1	39	7	130
3-0-2	64	15	380
3-1-0	43	7	210
3-1-1	75	14	230
3-1-2	120	30	380
3-2-0	93	15	380
3-2-1	150	30	440
3-2-2	210	35	470
3-3-0	240	36	1300
3-3-1	460	71	2400
3-3-2	1100	150	4800
3-3-3	≥2400		

(Tomada de APHA 1996) Nota: Esta tabla se puede utilizar para diluciones $\geq 0,1$ -0.01-0,001, el resultado del NMP de la tabla se multiplica por la penúltima dilución

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Taber 
---	--



Figura 6: Tesistas analizando las muestras en el laboratorio de ingeniería sanitaria



Figura 7: Muestras colocadas en la incubadora

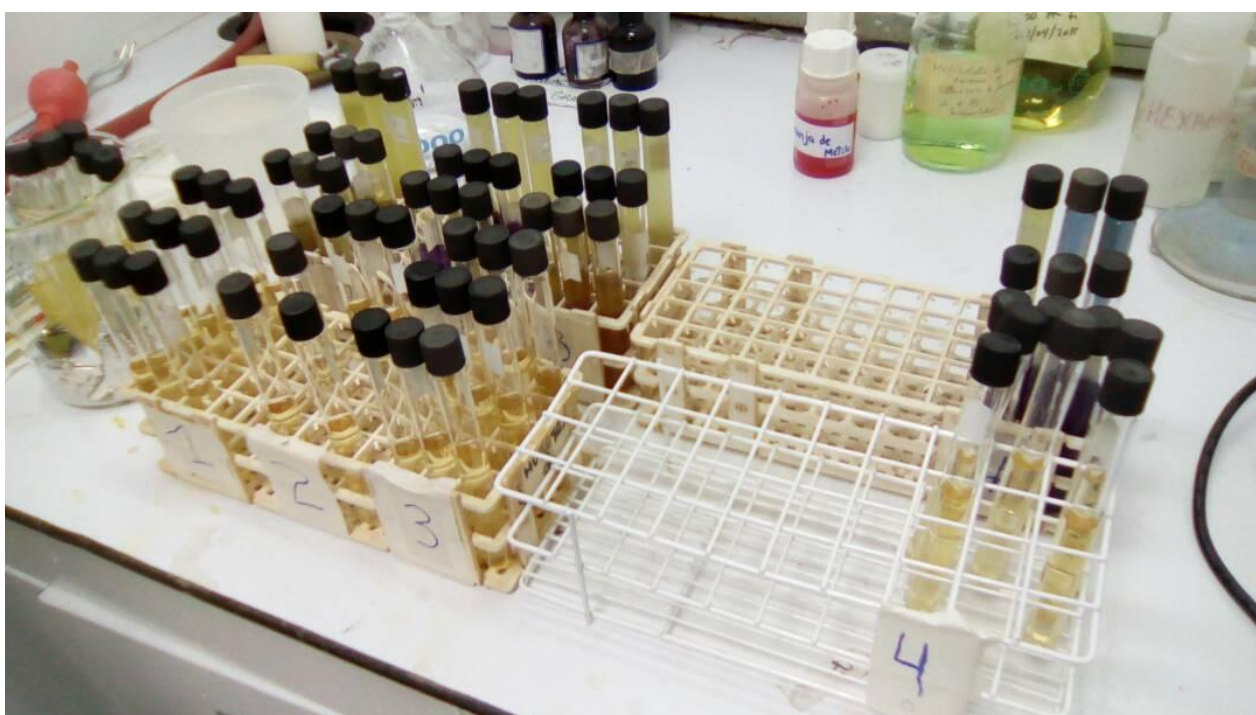


Figura 8: Resultados de coliformes totales.



Figura9: Realizando el proceso de inoculación en las muestras.



Figura 10: Muestras colocadas en incubadora.

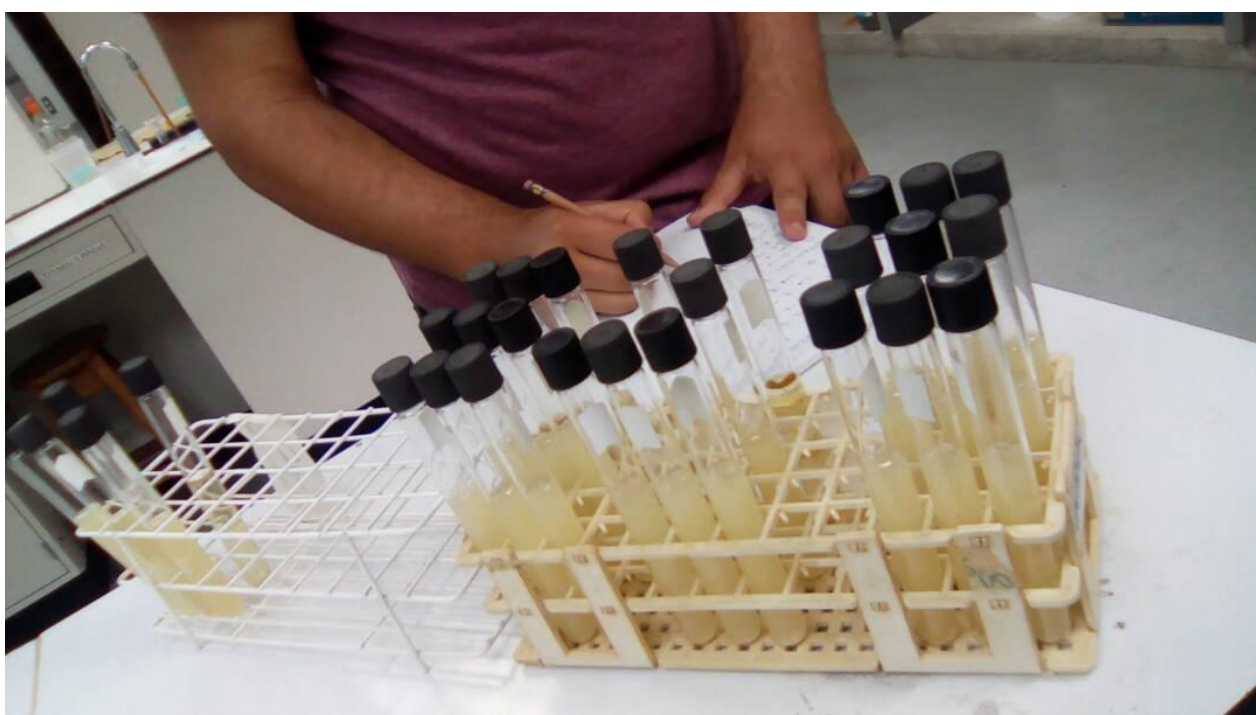


Figura 11: Resultados de coliformes fecales.

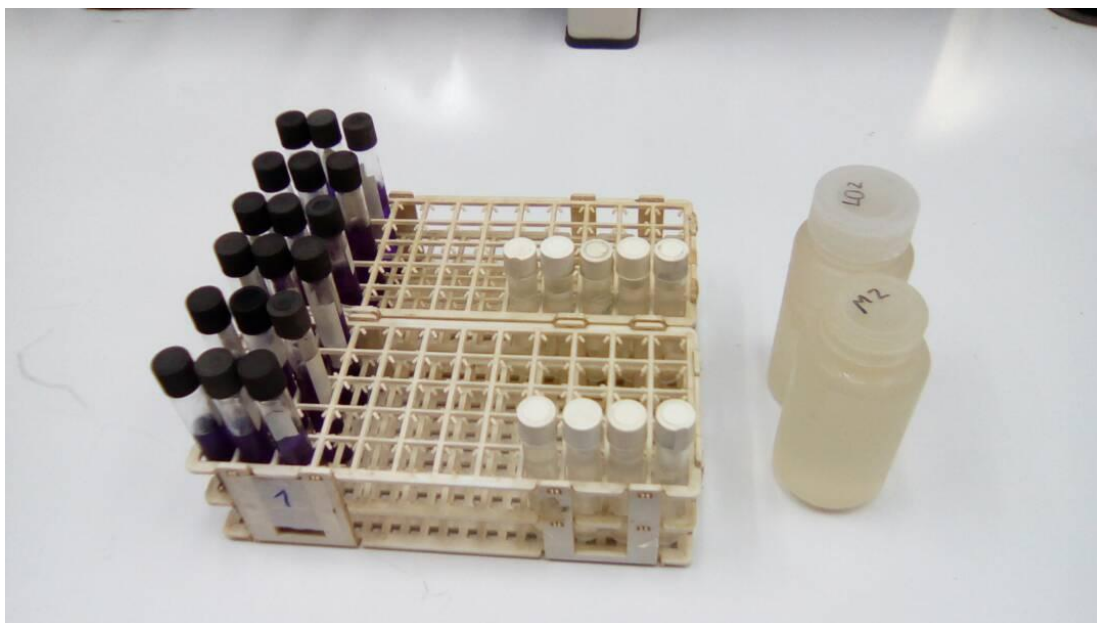



Figura 12: Segundo resultado de coliformes totales.

Anexo C
Ensayo DBO₅

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-016	
		REVISIÓN	FECHA
		01-11-08	12-11-11
		DOCUMENTO	
REVISIÓN	FECHA		
01-07-15			
CÓDIGO		LICPIS-16	



DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO


CLORURO FÉRRICO.	Sustancia Irritante, Sensibilizante y Nocivo para la Salud.	Contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Consultar al oftalmólogo. Tras inhalación: tomar aire fresco. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos). Consultar al médico.
SULFITO DE SODIO.	Sustancia Irritante.	Contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Consultar al oftalmólogo. Tras inhalación: tomar aire fresco. Si tiene problemas para respirar, administre respiración artificial. Llamar al médico. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos). Consultar al médico.
ÁCIDO SULFÚRICO.	Corrosivo. Provoca quemaduras graves.	Contacto con los ojos: lave con abundante agua. Tras inhalación: tomar aire fresco. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos), evite el vómito (peligro de perforación). Si ocurre cualquiera de los casos anteriores acuda al médico (muestre la etiqueta).
HIDRÓXIDO DE SODIO.	Sustancia Tóxica. Corrosivo. Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares.	Contacto con los ojos: lave con abundante agua. Tras inhalación: tomar aire fresco. Contacto con la piel: aclare con abundante agua, elimine la ropa contaminada. Tras ingestión: beba agua (máximo 2 vasos), evite el vómito (peligro de perforación). Si ocurre cualquiera de los casos anteriores acuda al médico (muestre la etiqueta).

Nota: Para cualquier otra información consultar las fichas de seguridad de cada reactivo ubicadas en el laboratorio y también pueden consultar la norma Covenin 2670: 2012 Materiales Peligrosos. Guía de respuestas a emergencias.

9. PROCEDIMIENTO.
9.1.- Preparación del agua de dilución

Colóquese el volumen deseado de agua destilada en un envase apropiado (preferiblemente de vidrio y provisto de dispensador) y añádase 1 ml por litro de agua de cada una de las siguientes soluciones: de amortiguadora de fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico $MgSO_4$, $CaCl_2$, $FeCl_2$, Na_2SO_3 , por cada litro de agua. De ser necesario inocular el agua de dilución y

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-016		
			VIGENCIA	REVISIÓN	Nº
			01-11-04	12-11-11	02
			DOCUMENTO		
VIGENCIA	REVISIÓN	Nº			
01-07-12					
CODIGO			LICPIS-16		

DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

proceder como se describe en 9.4.1 Verificar y conservar del agua de dilución como se describe en 9.2 a fin de disponer de agua de dilución de calidad garantizada.

Nota: Según el procedimiento de Métodos normalizados APHA, AWWA, PCF. Para el análisis de aguas potables y residuales, Edición 17th- Método 5210 B Prueba ROB 5 días, en el punto 4 Procedimiento(d) se refiere a la preparación del agua de dilución y dice: Colóquese el volumen deseado de agua en un frasco adecuado.-

9.2 Verificación y almacenamiento de agua de dilución

9.2.1 El agua de dilución puede ser almacenada antes de ser utilizada, siempre que satisfaga los criterios de control de calidad del blanco como se describe en el apartado 9.7.1. El almacenamiento puede mejorar la calidad del agua de dilución de algunas fuentes de agua pero al permitir el crecimiento biológico puede causar deterioro en otras. Es recomendable no almacenar el agua de dilución por más de 24 horas después de la adición de los nutrientes, minerales y solución amortiguadora a menos que los blancos del agua de dilución estén consistentemente en los límites de los controles de calidad. Descartar el agua almacenada si el blanco de agua de dilución muestra una reducción mayor de 0,2 mg/l de OD a los 5 días de incubación.


9.2.2 Si en el agua de dilución el consumo de oxígeno excede a 0,2 mg/l, descartar el agua de dilución y mejorar los procedimientos de purificación o cambiar la fuente. Alternativamente si se utiliza la inhibición de la nitrificación, almacenar el agua de dilución, inocular como se describe en el apartado 9.4.1. a temperatura ambiente y en la oscuridad, hasta el consumo de oxígeno sea lo suficientemente reducido como para satisfacer los criterios de aceptabilidad del agua de dilución. Verificar el agua de dilución almacenada en uso, pero no agrega inóculo al agua almacenada para mejorar su calidad. No se recomienda el almacenamiento si la determinación se hace sin inhibidor de la nitrificación, ya que durante este tiempo se pueden desarrollar los organismos nitrificantes

9.2.3 Verificar el contenido de Amoníaco remanente en el agua de dilución después del almacenamiento; si no existe agregar solución de cloruro de amonio para proveer un total de 0,45 mg N/l

9.2.4 Si el agua de dilución no ha sido almacenada, para mejorar su calidad agregar suficiente inóculo para producir de 0,5 mg/l a 0,1 mg/l en 5 días y a 20°C. Llenar completamente una botella con agua de dilución e incubar durante 5 días a 20°C. Determinar el OD inicial y final como se describe en los apartados 9.7 y 9.7.3 respectivamente.

El consumo de Oxígeno no puede ser mayor a 0,2 mg/l y preferiblemente no mayor a 0,1 mg/l.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet 
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-016		
			VIGENCIA:	REVISIÓN:	1a
			01-11-00	12-11-11	02
			DOCUMENTO		
			VIGENCIA:	REVISIÓN:	1ª
01-07-12					
CÓDIGO		LICPIS-16			

DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

descarga preferiblemente entre 3 y 8 km del sitio de descarga. Si esto tampoco es posible preparar en el laboratorio un inóculo adaptado aireando continuamente una muestra de agua residual doméstica previamente sedimentada y agregar diariamente pequeñas cantidades del residuo. Opcionalmente, se puede utilizar una suspensión de lodos activados, o una preparación de inóculo comercial para proveer la población microbiana inicial.

9.4.2.- Control del inóculo

9.4.2.1.- Determinar de DBO del material de inoculación como en cualquier muestra (este es el inóculo control). A partir de este valor obtenido y conociendo su proporción en el agua de dilución determinar el consumo de OD del inóculo. Lo ideal es hacer diluciones del inóculo tales que la mayor cantidad resulte en al menos un 50% de reducción de consumo de OD.

9.4.2.2.- Si se gráfica el consumo de OD en mg/l versus lo ml de inóculo presente en la dilución, la pendiente de la línea recta obtenida indica el consumo de OD por ml del inóculo, la intersección con el eje de las X representa el consumo de oxígeno causado por el agua de dilución y debe ser menor a 0,1 mg/l. para determinar el consumo de OD de una muestra inocula, restar el consumo de OD del inóculo del consumo total de oxígeno. El consumo de OD total del agua de dilución inoculada debe estar entre 0,6 mg/l y 1,0 mg/l.

9.4.2.3.- La técnica para agregar el inóculo al agua de dilución se describe en 9.6

9.5.- PRE-TRATAMIENTO DE LA MUESTRA

9.5.1.- Ajustar la temperatura de la muestra: esperar a que la muestra alcance una temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, antes de preparar las diluciones.

9.5.2.- Verificar el pH de todas las muestras antes de la determinación de la DBO, aunque la experiencia previa indique que el pH está dentro del rango aceptable.


En caso de haber en las muestras compuestos que interfieren en la determinación de la DBO véase capítulo 5 (Interferencias)

9.6.- TÉCNICAS DE DILUCIÓN

9.6.1.- Las diluciones que producen resultados más confiables, son aquellos cuyo OD residual sea de al menos 1 mg/l y el consumo de OD al menos 2 mg/l después de 5 días de incubación.

9.6.2.- Preparar las diluciones para obtener un valor de OD en este rango. Si no se tienen conocimientos previos de la muestra, se recomienda utilizar las siguientes: 0,0% a 1,0% para aguas residuales de alto contenido de materia orgánica; de 1% a 5% para aguas residuales crudas y

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Taber
---	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-01/8		
			VIGENCIA	Revisión	No.
			01-11-08	12-11-11	02
			DOCUMENTO		
VIGENCIA	Revisión	No.			
01-07-12					
CÓDIGO			LICPIS-16		

DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

depuradas; de 5% a 25% para efluentes tratados biológicamente y de 25% a 100% para aguas superficiales contaminadas (ríos).

9.6.3.- Preparar las diluciones en cilindros graduados o en balones volumétricos y después transferir a las botellas de DBO o preparar directamente en la botella de DBO.

9.6.4.- Ambos métodos de dilución pueden ser combinados con cualquier técnica de medición de OD. El número de botellas que serán preparadas para cada dilución dependen del OD utilizado y el número de replicas deseados. Cuando se utilizan cilindros graduados o balones volumétricos para la preparación de las diluciones, y es necesario inocular, añadir el inoculo directamente al agua de dilución o a los cilindros o balones antes de diluir. La inoculación en los cilindros y/o balones evita una disminución de la proporción del inoculo con respecto a la muestra a medida que se realizan diluciones mayores.

9.6.5.- Cuando las diluciones son preparadas directamente en las botellas de DBO y es necesario inocular, añadir directamente el inoculo al agua de dilución o a las botellas de DBO. Cuando una botella tiene más de 67% de la muestra después de la dilución, los nutrientes pueden estar limitados en la muestra diluida y en consecuencia se reduce la actividad biológica. En tales muestras, añadir los nutrientes, minerales y solución amortiguadora directamente a las botellas de DBO a una tasa de 1 ml/l (0,33 ml/300 ml).

9.6.6.- La forma de preparar las diluciones en las botellas directamente es el siguiente:

9.6.6.1.- agregar el volumen deseado de muestra a cada una de las botellas utilizando una pipeta volumétrica de punta ancha.


9.6.6.2.- Llenar las botellas aproximadamente 2/3 con suficiente agua de dilución, inoculada si es necesario, de modo que la introducción de la tapa de la botella desplaza todo el aire sin dejar burbujas.

9.6.6.3.- Si el método para la determinación del OD es el volumétrico (Winkler) preparar dos botellas por cada dilución, en una de ellas determinar el OD y sellar la otra hidráulicamente e incubar durante 5 días a 20°C.

9.6.6.4.- Si el método para la determinación del OD es el electrodo de membrana, preparar una sola botella por cada dilución, medir el OD y restituir el volumen desplazado por el electrodo con agua de dilución, tapar herméticamente e incubar durante 5 días a 20°C.

9.6.6.5.- Enjuagar el electrodo de membrana entre las determinaciones para evitar la contaminación cruzada de las muestras.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isabel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet
--	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria	FORMA: P-GC-018						
		<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01 - 11 - 04</td> <td>12 - 11 - 11</td> <td>02</td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	01 - 11 - 04	12 - 11 - 11	02
		VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA				
		01 - 11 - 04	12 - 11 - 11	02				
		DOCUMENTO						
<table border="1"> <tr> <td>VERSIÓN</td> <td>REVISIÓN</td> <td>FECHA</td> </tr> <tr> <td>01 - 07 - 12</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA	01 - 07 - 12				
VERSIÓN	REVISIÓN	FECHA						
01 - 07 - 12								
CÓDIGO LICPIS-16								

DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

9.7.- DETERMINACIÓN DEL OD INICIAL

Si la muestra contiene materiales que reaccionan rápidamente con el OD, determinar este inmediatamente después de haber llenado la botella de DBO con la muestra diluida. Si el consumo de OD inicial es insignificante el periodo entre la preparación de la dilución y la medida del OD inicial no es crítico pero no debe exceder de 30 min.

9.7.1.- Blanco de agua de dilución

Conjuntamente con cada uno de los lotes de muestra, incubar una botella llena con agua de dilución sin inocular como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no inoculada y de la limpieza de las botellas de DBO. Determinar el OD inicial y final como se indica en 9.7 y 9.7.3 El consumo de OD no puede ser mayor a 0,2 mg/l y preferiblemente no más de 0,1 mg/l.

9.7.2.- Incubación

Incubar a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ las botellas de DBO que contienen las diluciones preparadas, control del inóculo, blanco de agua de dilución y verificación con solución de glucosa -ácido glutámico. Sellar todas las botellas con sello hidráulico como se describe en el apartado 9.3.

9.7.3.- Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las muestras diluidas, blancos y controles como se indica en la Norma Venezolana 2871.

9.7.4.- EXPRESION DE RESULTADOS

Por cada botella de DBO que tenga un mínimo de reducción de 2,0 mg/l de OD y al menos de 1,0 mg/l de OD residual. Calcular el contenido de DBO, expresado en mg/l de la siguiente manera:

9.7.4.1. Si el agua de dilución no se inocula:

$$\text{DBO}_2 = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

9.7.4.2 Si el agua de dilución se inocula:

$$\text{DBO}_2 = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f}{P}$$


Donde:

D1= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D2= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación, mg/l.

P= Fracción volumétrica decimal de muestra utilizada.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isabel Talavera	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabet
--	--

	UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO – GUAYANA Escuela de Ingeniería Civil Manual de Prácticas Laboratorio Ingeniería Sanitaria		FORMA: P-GC-016					
			<table border="1"> <tr> <th>VENIDA</th> <th>REVISIÓN</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>01-11-04</td> <td>12-11-11</td> <td>02</td> </tr> </table>	VENIDA	REVISIÓN	FECHA	01-11-04	12-11-11
	VENIDA	REVISIÓN	FECHA					
	01-11-04	12-11-11	02					
DOCUMENTO								
<table border="1"> <tr> <th>VENIDA</th> <th>REVISIÓN</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>01-07-12</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	VENIDA	REVISIÓN	FECHA	01-07-12			CODIGO LICPIS-16	
VENIDA	REVISIÓN	FECHA						
01-07-12								

DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

B1= OD del inóculo de control antes de la incubación, mg/l.

B2= OD del inóculo de control después de la incubación, mg/l.

f= volumen de inóculo en cada botella de ensayo volumen de inóculo en el agua de dilución.

9.7.4.3.- Si la reducción de OD es menos de 2,0 mg/l y la concentración de la muestra es 100% (excepto la no dilución para inóculo, nutrientes, minerales y solución tampón) del inóculo actual corregido, la reducción del OD puede ser reportado como la DBO, aun si esta es de al menos 2,0 mg/l.

9.7.4.4.- Cuando todas las diluciones tienen un residual de OD menor de 1,0 mg/l seleccionar la botella que tenga la menor concentración de OD (dilución mayor) y reporte:

$$DBO_5 = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2) f}{P}$$

9.7.4.5.- En estos cálculos no se hace corrección por consumo de OD en el blanco de agua de dilución durante la incubación. Esta corrección es necesaria si el blanco de agua de dilución cumple con los criterios establecidos en los apartados anteriores. Si el agua de dilución no satisface estos criterios, es difícil realizar la corrección apropiada y los resultados se consideran cuestionables.

9.7.4.6.- Si se inhibe la nitrificación los resultados se indican como DBO₂ (Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea).

9.7.4.7.- Si más de una dilución cumple con los criterios: OD residual al menos 1mg/l y consumo de OD al menos 2mg/l y no hay evidencia de toxicidad o existencia de alguna otra anomalía, presentar el promedio de los resultados obtenidos en el rango aceptable.

9.8.- PRECISION

9.8.1.- No hay forma de establecer la desviación del método para la determinación de la DBO. La verificación con glucosa-ácido glutámico descrita en apartados anteriores es un intento de obtener un punto de referencia para evaluar la calidad del agua de dilución, efectividad del inóculo y técnica analítica.

9.9.- Gestión de desechos generados en las prácticas

Durante la realización de práctica se generan los desechos de las soluciones preparadas, estos desechos se catalogan como peligrosos y no peligrosos según el Decreto 2635, G.O N° 5245 del 3 - 08 - 1998 - y su ficha de seguridad, para ello lo siguiente:

9.9.1.- Los desechos generados en la práctica de DBO₅ no son catalogados como desechos peligrosos según el decreto 2635 ni su ficha de seguridad. No son necesarias tomar medidas especiales para ser dispuesta en forma definitiva sin previo tratamiento y pueden ser vertidos al desagüe que descarga a la planta de tratamiento de agua de la Universidad.

REVISADO Cargo: Técnico de Laboratorio Firma: Isbel Talavera 	APROBADO Cargo: Director (a) Firma: Djihad José Tabares 
--	---



Figura 13: Muestras de DBO recolectadas en el embalse.



Figura 14: Oxímetro

Anexo D
Tabla OD

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Anexo E
Tablas Decreto 883

ARTÍCULO 4º.- A los efectos de esta Norma, se establecen los siguientes criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen:

1. Las aguas del sub-tipo 1A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	mayor de 4,0 mg/l . (*)
pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	menor de 50, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 25, UNT.
Fluoruros	menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 2000 NMP por cada 100 ml.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

2. Las aguas del sub-tipo 1B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D.)	mayor de 4,0 mg/l . (*)
pH	mínimo 6,0 y máximo 8,5.
Color real	menor de 150, U Pt-Co.
Turbiedad	menor de 250, UNT.
Fluoruros	menor de 1,7 mg/l.
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 10000 NMP por cada 100 ml.

* Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 50%

3. Las aguas de los sub-tipo 1A y 1B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos o compuestos	Límites
------------------------	---------

Aceites minerales	0,3 mg/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,1 mg/l
Cloruros	600 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Dispersantes	1,0 mg/l
Dureza, expresada como CaCO ₃	500 mg/l
Extracto de carbono al cloroformo	0,15 mg/l
Fenoles	0,002 mg/l
Hierro total	1,0 mg/l
Manganeso total	0,1 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1500 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad

Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)
Actividad β	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l)

- Las aguas del Sub-Tipo 1C son aquellas en las cuales el pH debe estar comprendido entre 3,8 y 10,5.
- Las aguas del Sub-Tipo 2A son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 1000 NMP por cada 100 ml

Organismos coliformes fecales menor a 100 NMP por cada 100 ml.

6. Las aguas del Sub-Tipo 2B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Organismos coliformes totales	promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml.

7. Las aguas de los Sub-Tipo 2A y 2B no deberán exceder, además, los siguientes límites:

Elementos o compuestos	Límites
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l
Bario	1,0 mg/l
Boro	0,75 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,2 mg/l
Cobre	0,20 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Hierro Total	1,0 mg/l
Litio	5,0 mg/l
Manganeso Total	0,5 mg/l
Mercurio	0,01 mg/l
Molibdeno	0,005 mg/l
Níquel	0,5 mg/l
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sólidos disueltos totales	3000 mg/l
Sólidos flotante	Ausentes
Vanadio	10,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Organofosforados y carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l)

Actividad β máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l)

8. Las aguas del Tipo 3 son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (O.D)	mayor de 5,0 mg/l .(*)
pH	mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l
Detergentes no biodegradables	menor de 1 mg/l.
Detergentes biodegradables	menor de 0,2 mg/l.
Residuos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	no detectable (**)
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l
Biocidas	
Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l
Organismos coliformes totales (**)	a) promedio mensual menor a 70 NMP por cada 100 ml. b) el 10% de las muestras puede exceder de 200 NMP por cada 100 ml

Radiactividad

Actividad α máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l).

Actividad β máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l).

- * Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%
- ** Las muestras deben ser representativas de la calidad del cuerpo de agua a ser aprovechado. De existir fuentes de contaminación las muestras deberán ser tomadas en las zonas afectadas. En ambos casos se muestreará bajo las condiciones hidrográficas más desfavorables, a juicio del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.
- *** Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

9. Las aguas del Sub-Tipo 4A son aquellas cuyas características corresponden con límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
-----------	-----------------------

Organismos totales	coliformes	a) menor a 1000 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 5000 NMP en el 10% restante.
Organismos fecales	coliformes	a) menor a 200 NMP por cada 100 ml en el 90% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 400 NMP en el 10% restante.
Moluscos infectados con <i>S. mansoni</i>		Ausentes.

10. Las aguas del Sub-Tipo 4B son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro		Límite o rango máximo
Organismos totales	coliformes	a) menor a 5000 NMP por cada 100 ml en el 80% de una serie de muestras consecutivas. b) menor a 10000 NMP en el 20% restante.
Organismos fecales	coliformes	menor a 1000 NMP por cada 100 ml en la totalidad de las muestras.
Moluscos infectados con <i>S. mansoni</i>		Ausentes.

11. Las aguas del Tipo 4 deberán cumplir, además, con las siguientes condiciones:

Parámetro	Limite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 5,0 mg/l (*)
pH	mínimo 6,5 y máximo 8,5.
Aceites minerales	0,3 mg/l
Detergentes	menor de 1 mg/l.
Sólidos disueltos	desviación menor de 33% de la condición natural
Resíduos de petróleo, sólidos sedimentables y flotantes	Ausentes
Metales y otras sustancias tóxicas	no detectable (**)
Fenoles y sus derivados	0,002 mg/l

Biocidas

Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Organoclorados	0,2 mg/l

Radiactividad

Actividad α	máximo 0,1 Becquerelio por litro (Bq/l).
Actividad β	máximo 1,0 Becquerelio por litro (Bq/l).

- * Este valor también se podrá expresar como porcentaje de saturación, el cual debe ser mayor de 60%
- ** Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

12. Las aguas del tipo 5 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Fenoles	menor de 0,002 mg/l.
Aceites y espumas	Ausente.
Sustancias que originen sedimentación de sólidos y formación de lodos	Ausente.

13. Las aguas del Tipo 6 son aquellas cuyas características corresponden a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 4 mg/l.
Sólidos flotantes y sedimentables o depósitos de lodo.	concentraciones que no interfieran la navegación o la generación de energía

14. Las aguas del Tipo 7 son aquellas cuyas características correspondan a los límites siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Oxígeno disuelto (OD)	mayor de 3 mg/l.

ARTICULO 5°.- El Ejecutivo Nacional, mediante Decreto, establecerá la clasificación correspondiente a cada cuerpo de agua o sectores de éstos. En los respectivos Decretos podrán establecerse normas específicas sobre vertidos, de acuerdo con las especiales condiciones del cuerpo de agua objeto de la clasificación.

PARAGRAFO UNICO.- El Ejecutivo Nacional podrá establecer un orden de prioridades para la clasificación de los cuerpos de agua, en atención a los distintos grados de intervención o degradación que presenten. Los cuerpos de agua que no hayan sido objeto de clasificación se regirán por las disposiciones generales establecidas en este Decreto.

ARTICULO 6°.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá diseñar planes maestros de control y manejo de la calidad de aguas específicos para cada cuenca hidrográfica en el Territorio Nacional, a los fines de mejorar la calidad de un determinado cuerpo de agua o de tramos de éstos.

PARAGRAFO UNICO.- Los Planes deberán formularse con base a las variables siguientes:

- a) Relaciones causa - efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas.
- b) Alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros.
- c) Condiciones en que se permitirán los vertidos de efluentes, presentes y futuros, incluyendo los límites de descargas máxicas permisibles para cada fuente contaminante.
- d) Normas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de la calidad de las aguas.