



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO
MATURÍN, ESTADO MONAGAS**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). CASO DE
ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GUARAPICHE, MONAGAS,
VENEZUELA**

Trabajo de grado presentado por:

ALBERTO JOSÉ FIGUERA PULIDO

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO

Maturín, Julio del 2021



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA
SUB-COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO
ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

CTG-EIA-IA-2021

MODALIDAD: TESIS DE GRADO

ACTA N° 1956

En Maturín, siendo las **10:00** a.m. del día **21** de **Julio** del **2021** reunidos en la Sala de conferencias de la Comisión de Investigación, Campus Juanico del Núcleo de Monagas de la Universidad de Oriente, los miembros del jurado profesores: **Iván Maza** (Jurado), **Celeidys Vizcaino** (Jurado) y **José A. Gil** (Asesor). A fin de cumplir con el requisito parcial exigido por el Reglamento de Trabajo de Grado vigente para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo, se procedió a la presentación del Trabajo de Grado, titulado: **"EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GUARAPICHE, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA"**. Por el Bachiller: **ALBERTO JOSÉ FIGUERA PULIDO**, C.I. 22.970.877. El jurado, luego de la discusión del mismo acuerda calificarlo como:

Aprobado

Prof. **Iván José Maza**, Dr.
C.I.: 8.373.371
Jurado

Prof. **Celeidys Vizcaino González**, MSc.
C.I.: 12.225.089
Jurado

Prof. **José Alexander Gil Marín**, Dr.
C.I.: 8.469.875
Asesor

Alberto José Figuera Pulido, Br.
C.I.: 22.970.877

Prof. **Elizabeth Prada Andrade**, MSc.
C.I.: 10.118.469
Sub-Comisión de Trabajo de Grado

Prof. **Iván José Maza**, Dr.
C.I.: 8.373.371
Departamento Ing. Agronómica

Según establecido en resolución de Consejo Universitario N° 034/2009 de fecha 11/06/2009 y Artículo 13 Literal J del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente, Esta acta está asentada en la hoja N° 314 del libro de Actas de Trabajos de Grado del año 2011 del Departamento de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente y está debidamente firmados por el (los) asesor (es) y miembros del jurado.

DEL PUEBLO VENIMOS / HACIA EL PUEBLO VAMOS

DEDICATORIA

A Dios padre todo poderoso por darme la vida.

A mi madre Nadina Pulido por brindarme su amor dedicación, esfuerzo y su apoyo incondicional, y no dejarme decaer.

A mi padre Luis Alberto Figuera por ser ejemplo a seguir.

A mis hermanos Frank y Ernesto por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis amigos y amigas por todo su apoyo y lo vivido y compartido dentro y fuera de la universidad.

AGRADECIMIENTO

A mi DIOS padre todo poderoso por ser mi guía en este trayecto de mi vida.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional en tan importante etapa de mi vida. Sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis hermanos por su apoyo y brindarme su mano de ayuda cuando más la necesite.

A mi tutor el Dr. José Alexander Gil Marín por su asesoría y valiosa colaboración y dedicación en esta investigación.

A mis familiares, tíos, primos, por apoyarme en este periodo de mi vida.

A la Sr (a) Lombeira y el Sr (o) Rodolfo por su apoyo y colaboración y recibirme en su casa durante un buen tiempo en mi carrera.

A mis amigos y compañeros de clases, más que amigos fueron como unos hermanos, Migdrailys, Soleil, Darcy, Janny Jessy, Stefany, Yule, Elvis, Eliel, Zerpa, Jomar, Guacuco, Yolge, Henry "lito" Robert Orence y Yoledys Garcia durante la etapa universitaria, su apoyo consejos sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis profesores que pase por ellos por su enseñanzas y brindarme sus conocimientos agradezco estoy con todos ellos.

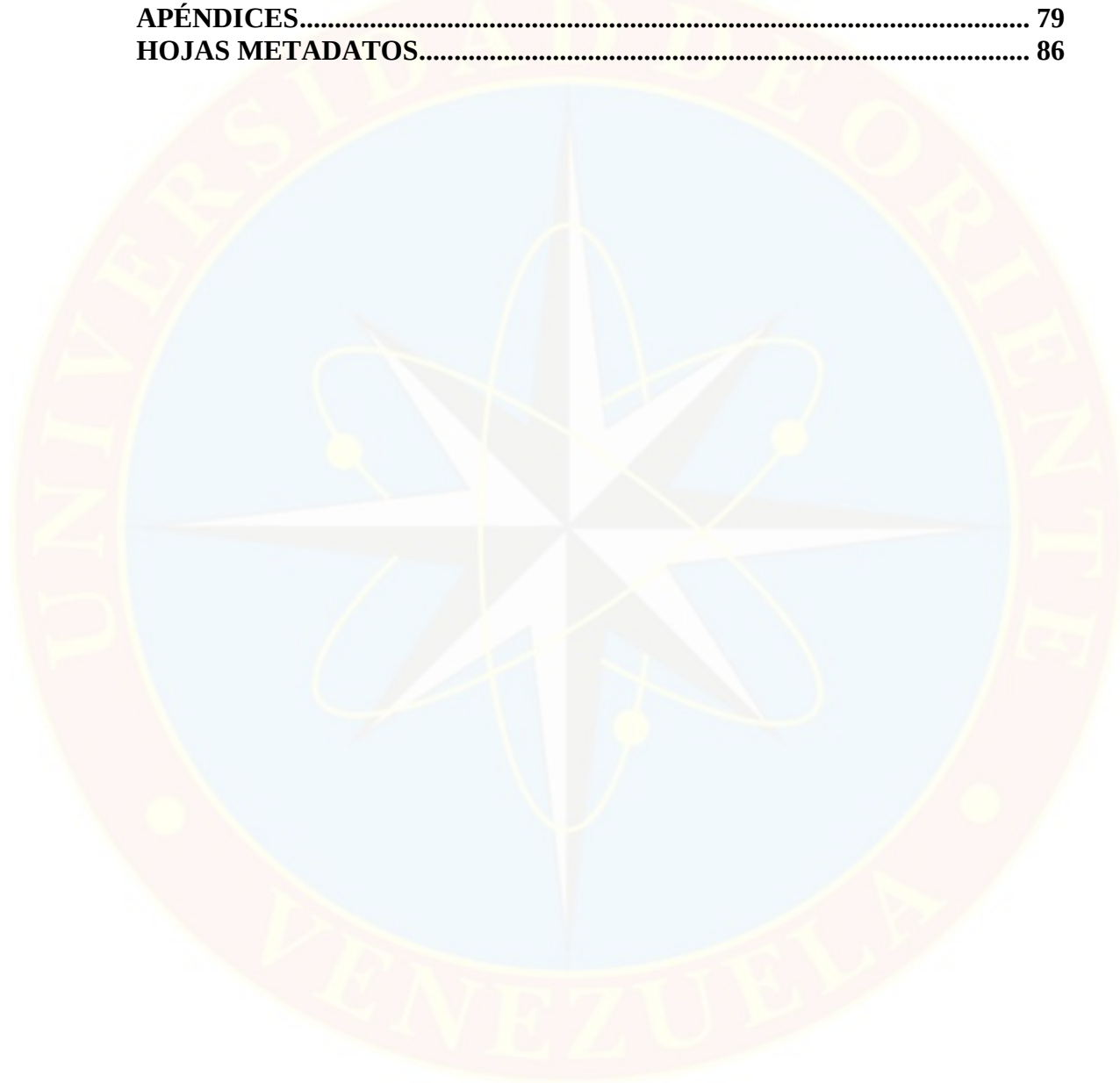
A la licenciada Lisbhet Area, por su valiosa colaboración, durante la etapa universitaria.

A mi pana Pacheco por su apoyo, consejo durante toda la etapa en la universidad.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE APENDICE.....	ix
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
BASES TEÓRICAS	6
Antecedentes.....	6
Agua.....	7
Calidad del agua	8
Evaluación de la calidad del agua.....	10
El monitoreo y muestreo.....	12
Parámetros de calidad del agua.....	13
Parámetros físicos del agua	13
Parámetros de calidad química del agua.....	17
Parámetros biológicos del agua	24
<i>Escherichiacoli (E.Coli)</i>	26
Índice de calidad del agua (ICA)	26
Historia del Índice de calidad del agua (ICA)	28
Clasificación y uso de los índices.....	30
Procedimiento general para la formulación de un índice de calidad de agua.....	31
Regresión lineal simple.....	33
Prueba de hipótesis y R^2	35
Tipos de factores en el modelo de regresión	37
Modelos de regresión múltiple	39
Modelo de regresión múltiple con dos regresores	40
Hipótesis del modelo de regresión múltiple	41
Parámetros del modelo de regresión múltiple	42
Prueba de hipótesis en el modelo de regresión múltiple.....	43
Diagnóstico y validación del modelo de regresión múltiple	44
MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
SITIO DE ESTUDIO	45
ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)	47
REGRESIÓN MÚLTIPLE LINEAL (RML)	51
ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (AC)	51
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	53

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA.....	54
ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE (ARM)	59
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL.....	61
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
APÉNDICES.....	79
HOJAS METADATOS.....	86



INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de las aguas según el valor de la dureza total.....	16
Cuadro 2. Ventajas y Desventajas del ICA (Índice Calidad de Aguas).....	32
Cuadro 3 Coordenadas Geográficas y UTM de las Estaciones analizadas en el Río Guarapiché, Estado Monagas, Venezuela. Período Febrero – Julio 2011.	46
Cuadro 4 Peso relativo de los parámetros de calidad del agua.	48
Cuadro 5 Clasificación de las aguas de acuerdo con el ICA.....	50
Cuadro 6 Estadísticos descriptivos básicos de los parámetros físicos, químicos y biológicos estudiados en el río Guarapiché. Periodo Febrero- Julio, 2011.	53
Cuadro 7. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al valor del Índice de calidad del agua.	55
Cuadro 8 . Análisis de regresión Múltiple con las variables dependientes ICA.	59
Cuadro 9 Análisis de varianza (Anova) para describir la relación entre ICA y las 6 variables independientes.	60
Cuadro 10 Análisis de regresión lineal para el modelo anterior y los ICA observados.	61
Cuadro 11 Análisis de varianza (Anova) relación entre los ICA Calculados y ICA Observados.	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de una ecuación de regresión simple para la relación entre costos y volumen, (Montgomery, 2008).	34
Figura 2. Representación de los mínimos cuadrados. (Montgomery, 2008).	35
Figura 3. Densidad de la variable respuesta Y.	38
Figura 4. Valor esperado de Y dado X.....	39
Figura 5. Modelo de regresión lineal con dos regresores	40
Figura 6. Plano para la estimación por mínimos cuadrados en un modelo con dos regresores (X_1 y X_2)	42
Figura 7. Ubicación relativa del área de estudio	45
Figura 8. Ubicación de las estaciones de muestreo. Río Guarapiché, Monagas, Venezuela Período Febrero-Julio 2011	46
Figura 9. Variación de los valores del ICA en las muestras de agua estudiadas en el Río Guarapiché, durante el periodo Febrero-Julio.2011.	55
Figura 10. Cajas de ploteo para la variable ICA, observada en el río Guarapiché. Periodo Febrero – Julio 2011. Variación espacial.	57
Figura 11. Cajas de ploteo para la variable ICA, observada en el río Guarapiché. Periodo Febrero – Julio 2011. Variación temporal.....	58
Figura 12. ICA observado versus ICA calculado en la cuenca del Río Guarapiche.	63
Figura 13. Residuos estudentizados versus ICA observados.	64
Figura 14. Dendograma General.	65

INDICE DE APENDICE

Tabla 1. Matriz final.....	80
Tabla 2. ICA promedio observado para estación 1 durante el periodo de seis meses.	81
Tabla 3. ICA promedio observado para la estación 2 durante los seis meses.	81
Tabla 4. ICA promedio observado para la estación 3 durante el periodo de seis meses.	82
Tabla 5. ICA promedio observado para la estación 4 durante el periodo de seis meses.	82
Tabla 6. ICA promedio observado para la estación 5 durante el periodo de seis meses.	83
Tabla 7. ICA promedio observado para la estación 6 durante el periodo de seis meses.	83
Tabla 8. ICA promedio observado para la estación 7 durante el periodo de seis meses.	84
Tabla 9. Análisis de varianza para el ICA por efecto de los sitios de muestreo en la Cuenca del Rio Guarapiche.	84
Tabla 10. Prueba de LDS para los valores ICA de las diferentes estaciones de muestreo.	85
Tabla 11. Análisis de varianza para el ICA por efecto de los meses de muestreo en la Cuenca del Rio Guarapiche.	85
Tabla 12. Prueba de LDS para los valores ICA de los diferentes meses de muestreo.	85



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO
MATURÍN, ESTADO MONAGAS**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL
UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). CASO DE
ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO GUARAPICHE, MONAGAS,
VENEZUELA**

Trabajo de grado presentado por:

ALBERTO JOSÉ FIGUERA PULIDO

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el índice de calidad del agua (ICA) en el río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela, medido por el método del índice aritmético ponderado. Para ello, se evaluó catorce parámetros de calidad del agua (temperatura, pH, dureza, CE, nitrato, nitritos, sulfato, cloruros, OD, Fe, Mn, Ni, K, y CF). El peso relativo asignado a cada parámetro varió de uno a cuatro basado sobre la importancia del parámetro para la vida acuática. Los valores de ICA van desde 44,38 (muestreo estación San Félix) a 363,69 (estación de muestreo Palmonagas). El impacto de varias actividades antropogénicas fue evidente en algunos parámetro como Mn, NO₃, NO₂, y CF. Se sugiere que el monitoreo del río es necesario para una gestión adecuada. La aplicación del ICA se recomienda como una herramienta muy útil que permite al público y a los responsables de la toma de decisiones, evaluar la calidad del agua de los ríos en Venezuela. Palabras clave: índice de calidad del agua; recursos hídricos; río Guarapiche; antropogénicas; Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más abundante sobre la tierra, y constituye el medio ideal para la vida, es imprescindible para los seres vivos que habitan en él. El agua forma parte de todos los procesos naturales de la tierra, por lo tanto tiene un impacto en todos los aspectos de la vida. Del agua existente en el planeta, el 2,53 % está distribuido en ríos, lagos, glaciares, en la atmósfera y en el subsuelo. En América Latina y el Caribe aproximadamente el 20 % del total de las extracciones de agua, se utiliza para el consumo humano, y más del 70 % se destina a la agricultura (Jouravlev, 2004). La mayoría de estas extracciones provienen de fuentes superficiales como ríos.

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua (Chapman 1996, Castañé et al. 1998).

Uno de los inconvenientes para la valoración de la calidad del agua es precisamente la naturaleza multidimensional del concepto de “calidad del agua”. La interpretación y el manejo de los datos obtenidos en el monitoreo suele ser un trabajo complicado y en muchas ocasiones de difícil entendimiento para el público en general (Samboni *et al.* 2007). En nuestro país las grandes extensiones de sus cuerpos de agua no escapan a este problema, por ejemplo, en el estado Monagas tenemos la cuenca del río Guarapiche la cual es el afluente de mayor importancia en la zona, nace en el macizo montañoso del Turimiquire, el cual limita con los estados Anzoátegui y Sucre.

El agua de la cuenca del río Guarapiche es una fuente renovable esencial para la vida, el medio ambiente, consumo humano, agricultura y ganadería. Es la

principal fuente proveedora de agua en el estado Monagas y la de mayor demanda y uso tanto a nivel de consumo humano como agrícola. A nivel de consumo humano es la principal fuente que suministra agua a más del 50 % de la población del municipio Maturín, gracias a una planta potabilizadora localizada en esa ciudad. A nivel agrícola se le ha dado el mayor uso durante el periodo más crítico del año verano, tiempo donde los cultivos requieren mucho más del vital líquido para completar su ciclo de vida.

Las aguas superficiales de las nacientes y de los ríos son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por microorganismos patógenos o sustancias químicas ya sea de origen natural o antrópico (WWPA, 2003). El agua es un vehículo de transmisión de químicos y especies bacteriológicas y constituye un riesgo para la propagación de enfermedades como medio de dispersión. La ingesta de agua contaminada con patógenos puede producir efectos inmediatos en la salud; mientras los agentes químicos pueden acumularse en el organismo durante meses, años o décadas y cuyas consecuencias se manifiestan en forma de intoxicación grave o letal (OPS, 1993).

El río Guarapiche se ha visto afectado por diferentes fuentes de contaminación, originado por las actividades económicas realizadas por el hombre, causando un gran problema a esta fuente de agua. Cabe destacar en los últimos años el principal problema de contaminación lo ha presentado la actividad petrolera, debido al derrame de petróleo ocurrido en los últimos años lo cual produjo importantes cambios químicos en el agua, incluso paralizó el uso del vital líquido durante un largo tiempo. Otro problema lo representa la tala, quema, botaderos de basura cerca del cauce del río y las descargas de aguas negras, produciendo daños ecológicos a la atmósfera y al río, y por último se tiene el uso excesivo de fertilizantes, los cuales con el pasar del tiempo penetran el suelo y luego todos esos residuos de agroquímicos se arrastran hasta la cuenca del río Guarapiche, trayendo como consecuencia cambios químicos en el agua y causándole un alto nivel de contaminación.

Todos estos problemas traen como consecuencia la contaminación de la cuenca del río Guarapiche, lo cual genera un grave problema ecológico ambiental en el estado Monagas afectando de forma directa o indirecta a los usuarios de esta fuente agua principalmente del consumo de la misma, así como también para las actividades agrícolas, industriales y recreativas de la zona.

Para examinar los impactos de estas actividades, se necesita una evaluación de la calidad del agua. Un mecanismo difundido para esta tarea la constituyen los índices de calidad del agua (ICA), que resumen una gran cantidad de información, hasta obtener un número capaz de ubicar al agua en una determinada categoría. Este estudio presenta al índice de calidad del agua (ICA), como marco de referencia único para comunicar información sobre la calidad del ambiente afectado y para evaluar la vulnerabilidad o la susceptibilidad del agua a la contaminación (Canter, 1996).

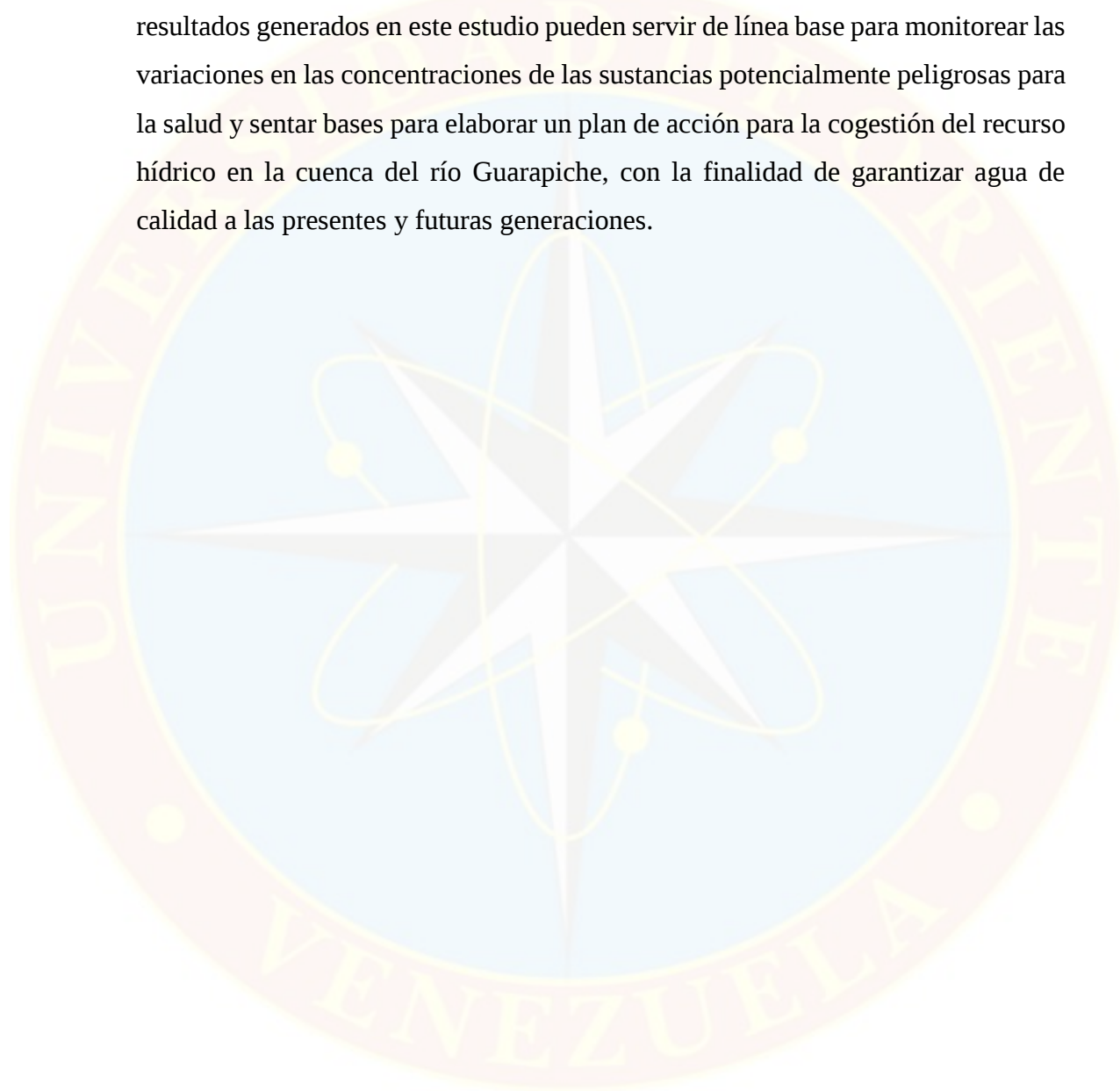
También, se puede considerar como una forma de agrupación simplificada de algunos constituyentes para indicar el deterioro en la calidad de agua. El ICA posibilita la evaluación de los constituyentes que afectan la calidad del agua para sus diferentes usos. Esta evaluación nos sirve como una manera de comunicar y representar la calidad en los cuerpos de agua. Además, permite la comparación entre diversos ríos o entre diferentes localizaciones para un mismo río.

El ICA utiliza la documentación de calidad del agua y se soporta en la variación de las políticas, enmarcadas por varias agencias de monitoreo ambiental (Kung *et al.* 1992).

El procedimiento individual de la variable calidad del agua no es fácil de entender para el público. Por esa razón, el ICA sintetiza la mayor información en un solo valor para expresar los datos en una forma simple y lógica. La recolección de datos, de varias fuentes, permite desarrollar un estado completo del cuerpo de agua. Esto aumenta la capacidad de comprensión de los problemas de calidad del

agua tanto por parte de los responsables políticos, como del público y demás usuarios de los recursos hídricos.

En la actualidad el río Guarapiche carece de estudios con el ICA, de ahí los resultados generados en este estudio pueden servir de línea base para monitorear las variaciones en las concentraciones de las sustancias potencialmente peligrosas para la salud y sentar bases para elaborar un plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la cuenca del río Guarapiche, con la finalidad de garantizar agua de calidad a las presentes y futuras generaciones.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar espacial y temporalmente el índice de calidad del agua tomando como base las variables físico-químicas y bacteriológicas del río Guarapiche, dentro de los límites de los Municipios Acosta, Cedeño y Maturín, durante el periodo comprendido de Febrero a Julio del año 2011.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los resultados de los análisis realizados de acuerdo con lo establecido en la Norma Venezolana Decreto 883 y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para Agua Potable.
- Determinar los valores del ICA con los registros de cada una de las estaciones de estudio (Espacio) de la cuenca del río Guarapiche.
- Cuantificar los valores del ICA en los meses de muestreo.
- Calcular la ecuación de regresión múltiple mejor ajustada para la variable ICA.
- Determinar la ecuación de regresión lineal de más ajuste entre los valores de ICA observados y los valores de ICA calculados con la ecuación de regresión múltiple.
- Utilizar técnicas de análisis de clúster en los análisis de los ICA obtenidos.

REVISIÓN DE LITERATURA

BASES TEÓRICAS

Antecedentes

En el caso de los estudios de los índices de calidad de agua para Venezuela en aguas superficiales se destacan los trabajos siguientes.

Espinosa y Rodríguez (2016), en un estudio de Índice de Calidad de Agua (ICA) para los ríos Morón y Patanémo, en el Estado Carabobo proponen una clasificación en escala de 0 a 100, de la calidad del agua, según las variables evaluadas; y calificó el agua conforme a su estado. El ICA desarrollado considero trece variables: oxígeno disuelto, pH, temperatura, materia orgánica, metales, sólidos disueltos, turbidez, NO₃, PO₄, conductividad, alcalinidad, dureza y coliformes, que fueron determinados mediante la evaluación en la calidad de agua. El ICA obtenido represento un valor puntual, característico de la calidad del agua del lugar y el momento específico donde se tomaron las muestras. Para el río Morón más del 60% de sus aguas se encuentra en calidad “media” a “mala” en dos sectores estudiados (aguas arriba y desembocadura) mientras que el río Patanémo más del 80% de sus aguas se encuentra en calidad “buena” a excelente en el tramo aguas arriba, mientras desmejora pero con calidad “buena” en la desembocadura.

Mientras Mayorga *et al.* (2017), evaluaron el efecto de las aguas residuales generadas por la población de la ciudad de Mérida sobre dos de los cuatro ríos que pasan por la ciudad, Milla y Albarregas. Determinaron un índice de calidad de agua, ICA, con los siguientes parámetros: pH, temperatura, turbidez, coliformes fecales, oxígeno disuelto, fosfatos totales y sólidos suspendidos. Los resultados indicaron durante el período de muestreo, antes de llegar a la ciudad, los dos cuerpos de agua presentaron ICA por encima de 80 (el valor de 0 es pésimo y el 100 excelente); indicando buena calidad de agua, y puede ser utilizada para consumo humano, pero

al pasar por la ciudad, el índice decrece rápidamente (hasta debajo de 50 en algunos casos), lo cual indica una calidad entre mala y regular.

Por último, Chávez-Alcántar *et al.* (2011), en la ciudad de México evaluó la composición química y bacteriológica del agua superficial, el origen de contaminantes y grado de contaminación de las corrientes y cuerpos de agua en los 16 sitios seleccionados y tres fechas de muestreo en ríos, presas, canales y Lago de Chapala. Se usó análisis estadístico multivariado y calculó el índice de calidad de agua (ICA) para cada sitio y fecha de muestreo. Los resultados mostraron concentración de los contaminantes en las aguas superficiales de la Ciénega de Chapala incrementada aguas abajo. El mayor aumento fue para la conductividad eléctrica (CE), coliformes fecales (CF) y P total. El cambio en las relaciones iónicas Na/Ca y Cl/SO₄ aguas abajo indicó una tendencia hacia la composición Na-SO₄ de estas aguas; con los valores del ICA calculados, el 44 y 53% de los sitios estudiados presentaron buena y moderada calidad de agua, respectivamente. La mejor calidad fue en la zona de ríos y presas con poca influencia de actividades antropogénicas, mientras la más baja calidad correspondió al Lago de Chapala.

Las variables químicas y bacteriológicas que se asociaron significativamente con el ICA fueron la CE, Pb, Cd, B, P y CF; la CE fue la que principalmente se correlacionó con el deterioro de la calidad del agua. En orden de importancia, los drenajes agrícolas y las aguas residuales son las principales fuentes de contaminantes en la zona.

Agua

El agua es un recurso natural el cual forma parte de los componentes abióticos de los ecosistemas, esencial para la supervivencia de los componentes bióticos o seres vivos donde habitan los distintos ecosistemas, en torno a ella giran muchas de las funciones vitales de los seres vivos, desde los organismos microscópicos como las células para el desarrollo de su metabolismo en la obtención o liberación de

energía, en el anabolismo como ocurre en la síntesis de compuestos químicos importantes o en el catabolismo para la degradación de otros compuestos bioquímicos que garantizan su reproducción y supervivencia de las especies.

Como compuesto químico de fórmula H_2O , hace parte de todos los seres vivos y se debe evitar el riesgo de contaminación, para la WHOPAHO (1988), el control de la calidad del agua es fundamental y es la clave para reducir los riesgos de enfermedades debido a la capacidad de transmitirse por el consumo de agua contaminada donde se pone en peligro la vida de las personas.

WWAP (2003), define el agua como un elemento esencial para la vida la producción de alimentos, electricidad, mantenimiento de la salud. También es necesaria en el proceso de elaboración de muchos productos industriales, medios de transporte y asegura la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra.

El agua forma parte de todos los procesos naturales de la tierra, por lo tanto tiene un impacto en todos los aspectos de la vida. Debido a la dependencia de los organismos por el agua, ésta se ha convertido en el eje primordial del desarrollo de la sociedad a través de la historia. Pero también el agua es un recurso limitado, muy vulnerable y escaso en los últimos años, y no existe una conciencia globalizada sobre el manejo razonable de este recurso. Esto origina crisis por el uso del agua, provocando enfermedades de origen hídrico, desnutrición, crecimiento económico reducido, inestabilidad social, conflictos por su uso y desastres ambientales, por lo cual es necesario mantener un monitoreo constante de la calidad del agua y conocer el uso de tecnologías o factores que afectan su calidad (WWAP, 2003).

Calidad del agua

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de la misma, sin embargo, se le han brindado menos atención. Refiriéndose este término al conjunto de parámetros que indican el uso del agua

para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria (Mendoza, 1996).

Otros autores la definen en función de un conjunto de características físico-químicas y microbiológicas, enmarcadas dentro de un rango de valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas capaces de afectar a la salud (OMS, 2006), tras cortos o largos periodos de exposición (Rojas, 2002). Mientras la contaminación microbiológica se basa en la valoración de aquellos microorganismos capaces de afectar directamente al ser humano o su presencia señala la posibilidad de la existencia de otros microorganismos, tal y como sucede con los coliformes fecales: *Escherichiacoli* y *salmonella*.

Aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de parámetros indicadores serán consideradas aptas para la finalidad del cual se le destina. El agua para consumo humano (ACH) es aquella utilizada para la ingesta, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios y otros menesteres domésticos (OPS, 2003).

El agua para consumo humano se deriva de dos fuentes: agua superficiales, como los ríos y reservorios y subterráneas (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003). Las primeras son aquellas que fluyen sobre la superficie de la tierra, incluyen a las causadas por las precipitaciones de las lluvias y las que brotan de los manantiales. Las segundas son las situadas bajo el nivel freático y saturan completamente los poros y fisuras del terreno: fluyen a la superficie del suelo de forma natural a través de manantiales y pozos artesanales o por medio de sistema de bombeo (CIRA-UAMEN, 2005).

Custodio y Díaz (2001), señalan los parámetros indicadores de contaminación o índices de calidad permiten medir los cambios percibidos en un cierto cuerpo de agua capaces de ser afectado por distintos tipos de contaminación o degradación

física. Por otra parte, (Fawell y Nieuwenhuijsen 2003), indican que cualquier cambio significativo en la concentración de algún parámetro indicador, es sospecha de algún grado de contaminación ya sea físico, químico o bacteriológico.

También así se puede entender la calidad del agua, desde un punto de vista funcional, como la capacidad intrínseca del agua para responder a los diferentes usos. O desde un punto de vista ambiental, como aquellas condiciones del agua para mantener un ecosistema equilibrado y cumplir unos determinados objetivos de calidad (calidad ecológica). O como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen; (Chapman, 1996).

Cuando los factores externos degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación. La prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas constituye uno de los objetivos a plantearse en cualquier política avanzada de gestión de recursos hídricos (Chapman, 1996).

Por lo tanto, para decidir si un agua es de una calidad deseable para un determinado propósito, su calidad debe ser especificada en términos de uso (Illarramendi, 2000). Para determinar la calidad de un cuerpo de agua se realiza una caracterización física, química y biológica de aguas naturales para determinar su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos (artículo 3. Decreto N° 2181). Entendiéndose por caracterización al proceso de muestreo, medición, registro señalización continua de las propiedades del agua o material contenido en él (COVENIN 2634, 2000).

Evaluación de la calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del recurso hídrico en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y a los usos intencionales, particularmente aquellos

capaces de afectar a la salud humana y a la de los sistemas acuáticos (Chapman, 1996). Esta evaluación define la condición del agua, provee las bases para detectar tendencias y suministra información disponible para establecer las relaciones causa-efecto. La importancia radica en la interpretación y reporte de los resultados del monitoreo y constituye la base para realizar recomendaciones para acciones futuras. Así el manejo requiere inevitablemente del muestreo y de la evaluación, es decir, es una cadena de retroalimentación (Chapman, 1996).

FAO (2003), señala a la evaluación de la calidad del agua como un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud. El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano originados por una serie de desechos vertidos a las aguas para su eliminación (Sáenz, 1995).

La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, principalmente los habitantes en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo cual provoca más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (OPS, 1993).

Es de vital importancia, tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad, contar con un abastecimiento seguro y conveniente, de satisfacción para el consumo humano, y la higiene personal debe reñirse a normas adecuadas en cuanto a disponibilidad, cantidad, calidad y confiabilidad del abastecimiento. El agua por ser un líquido vital para los seres vivos, debe poseer un alto grado de potabilidad presentando las siguientes características:

- Condiciones físicas: debe ser clara, transparente, inodora e insípida.
- Condiciones químicas: capaz de disolver bien el jabón sin formar grumos, debe cocinar bien las legumbres.
- Condiciones biológicas: estar libre de organismos patógenos, con alto contenido de oxígeno y una temperatura sin sobrepasar más de 5°C a la del ambiente, pH entre seis y ocho (OMS, 2006).

El monitoreo y muestreo

El monitoreo de la calidad del agua es la recolección actual de la información en un grupo de sitios y a intervalos regulares con el fin de proveer datos para definir las condiciones recientes y tendencias establecidas del agua, entre otras (Chapman, 1996). Cuando se recolectan muestras directamente de un río, quebrada, lago, reservorio o manantial debe tenerse presente que el objetivo es obtener muestra representativa del agua a analizar, de esta manera es inconveniente recolectar muestras en puntos demasiado próximos a la orilla, muy distantes del punto de captación, del sedimento cerca del fondo o de lugares donde el agua se encuentra estancada. Se selecciona un punto en un tramo homogéneo del río, quebrada o manantial para recolectar la muestra es decir, una parte donde haya mezcla. La botella se sumerge en el agua con el cuello hacia abajo, hasta una profundidad de 15 a 30 centímetros, con el fin de evitar los desechos flotantes e inmediatamente se endereza colocando el cuello hacia arriba y la boca contra la dirección de la corriente con el propósito de evitar que el agua toque la mano antes de entrar en la botella. Cuando no existe corriente la botella se empuja horizontalmente a través del agua siguiendo las instrucciones anteriores (A y A, 2007).

Al seleccionar los puntos de muestreo, cada sitio debe ser considerado individualmente. Sin embargo, en la mayoría de los casos puedan aplicarse ciertos criterios generales, los puntos de muestreo deben ser representativos de las diferentes fuentes de abastecimiento del sistema; estar distribuidos uniformemente

a lo largo del sistema en su conjunto, en este caso una microcuenca y de sus principales componentes (A y A, 2007).

Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua a evaluar guardan relación con los contaminantes potenciales, presentes en el agua superficial de la cuenca del río en estudio y al uso de la misma. Los parámetros de calidad del agua en general, se diferencian según sus orígenes en físicos, químicos y biológicos.

Parámetros físicos del agua

Los parámetros físicos permiten determinar cualitativamente el estado y tipo de agua. Los parámetros físicos más importantes a estudiar son los siguientes:

- **Temperatura (T)**

La temperatura es una medida del grado de calor de un cuerpo, se expresa en unidades de grados centígrado (°C) y se mide con un termómetro de mercurio o digital (OMS, 1998).

Este es uno de los parámetros físicos más importantes y está determinado por múltiples factores potencialmente ambientales por ende hacen variar continuamente. Es de particular interés si se desea precisar la magnitud de procesos naturales de autodepuración, determinar los valores de temperatura necesarios para estimar el comportamiento de los procesos aerobios y anaerobios que en esos casos se aplican o intervienen. Además porque la mayor o menor intensidad de las reacciones químicas y procesos biológicos dependen de la temperatura del ambiente o medio en donde se manifiesta (Rivas, 1978).

Es importante conocer la temperatura promedio de 20 °C, es un valor utilizado como estándar en varias pruebas de laboratorio y en la determinación de constante de reacción, como lo es la constante de DBO (Sole, 2005).

El agua hidrotermal y geotérmica de los pozos profundos tienen temperaturas elevadas: entre 40 y 96 °C: y superior a las 100 °C, respectivamente. La descarga de estas aguas en las nacientes superficiales puede causar daño a la flora y fauna acuática, así como favorecer reacciones químicas secundarias, reducir los niveles de oxígeno y acelera el crecimiento de bacterias (OMS, 1998).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia y se define como la concentración del ion hidrógeno en el agua (Davis y Cornwell, 1998).

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. Ésta disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador para comparar algunos de los iones más solubles en agua.

Su valor define, en parte la capacidad de autodepuración de una corriente y por ende, su contenido de materia orgánica además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados. También es una propiedad de carácter química de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática por su influencia sobre ciertos procesos químicos y biológicos. Por ejemplo, a valores bajos de pH se incrementa la toxicidad del cianuro o del aluminio y se observan efectos adversos en peces e insectos acuáticos como muerte y reducción de invertebrados; por otro lado, el aumento del mismo, incrementa la toxicidad del amonio.

Por otra parte Hem, (1985) define al pH como una medida del contenido de ion hidrógeno en medio acuoso. Las aguas con un valor de pH superior a siete son alcalinas y si es inferior son ácidas. El agua de los ríos sin o poco contaminada presenta un pH entre 6,5 y 8,5 dentro del cual los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la fotosíntesis y respiración respectivamente. En cambio cuando el pH se encuentra por debajo de 5 pueden romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio) (Goyenola, 2007).

La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, por desplazarse a través de un sustrato no ionizable. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , u otros iones. Debe tomarse en cuenta los derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad (Goyenola, 2007).

Es por esto que la conductividad es una medida útil como indicador de la calidad de aguas dulces. Cada cuerpo de agua tiene un rango constante de conductividad, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales. Cambios significativos pueden ser indicadores eventos puntuales de contaminación (Goyenola, 2007).

La conductividad eléctrica en las aguas naturales se puede correlacionar con la cantidad de sólidos disueltos por ser en su mayoría compuestos iónicos de calcio y magnesio. La presencia de altas concentraciones de estas sales afecta la vida acuática y en el caso del riego afecta a la vida de la planta y a la calidad de los suelos (Canter, 2000).

- **Dureza total**

El término viene dado por las cantidades de sales formadas por las concentraciones de Ca^{+2} y Mg^{2+} . La dureza, por lo general, se expresa como el número equivalente de miligramos de carbono de calcio (CaCO_3) por litro.

Este parámetro tiene efectos sobre la osmoregulación de los peces. Las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario las aguas con dureza elevada duras son muy productivas, la productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada pero son menos productivas en términos de biomasa (Roldán, 2003).

De acuerdo con lo señalado por Wilson (2005) “la dureza del agua es una de las principales características del agua subterránea y/o afectación de aguas continentales por aguas marinas, esta también puede estar asociada a los vertimientos de aguas residuales, como por ejemplo residuales agrícolas”.

Cuadro 1. Clasificación de las aguas según el valor de la dureza total.

Clasificación	Dureza total (mg CaCO_3 /L).
Blandas	0 – 100
Moderadamente duras	101 – 200
Duras	200 – 300
Muy duras	> 300

Fuente Wilson (2005)

Parámetros de calidad química del agua

La calidad química del agua esta determinada por las sustancias de este tipo presentes en el agua recolectada en un punto específico y en un momento dado.

Los parametros químicos más importantes se indican a continuación:

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización consumiendo oxígeno y produciendo gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos (Canter, 2000).

El oxígeno es un oxidante localizado en la atmósfera y juega un papel muy importante en las reacciones de oxidación-reducción acuosas, así como también en la respiración microbiana. Un método analítico para su determinación es el yodométrico de Winkler (U.S.G.S, 2006). Se mide en porcentaje de saturación del oxígeno disuelto a una determinada temperatura del agua y altura del sitio de muestreo. La solubilidad del oxígeno depende de la presión atmosférica a una temperatura dada. Así, en el verano cuando las temperaturas son altas, su solubilidad es menor en comparación con el invierno (APHA *et al.*, 1995). Este parámetro es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener la vida acuática.

Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una mejor calidad de agua. El papel biológico de esta variable es fundamental porque define la presencia o ausencia potencial de todas las especies acuáticas.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire, del producto de la fotosíntesis de las plantas acuáticas y también podría resultar de la turbulencia en las corrientes debido a la incorporación del oxígeno en el aire al agua por los movimientos rápidos en ésta. Otro factor involucrado en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es la temperatura.

Roldán, (2003) señala que los valores normales en las fuentes superficiales o ríos para este parámetro varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L.

La legislación venezolana, específicamente el Decreto 883 (GORV. 1995), indica la cantidad de oxígeno disuelto en el agua destinada al riego de hortalizas y legumbres consumidas en estado crudo, debe ser mayor a 4 mg/L.

- **Nitrito (NO₂), nitrato (NO₃)**

El nitrógeno (N) se presenta en las siguientes formas: nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) entre otros. Este ciclo es sumamente dinámico y complejo, sobre todo los procesos microbiológicos responsables de la mineralización, fijación y desnitrificación del nitrógeno de los suelos, por lo tanto el ritmo del mismo depende de factores como la humedad del suelo, la temperatura y el pH (Ongley, 1997).

El nitrato se deriva de dos fuentes: naturales y artificiales. En las aguas superficiales de las primeras, los nitratos se originan de la descomposición por microorganismos de la materia nitrogenada orgánica, como las proteínas y excretas de las plantas y animales. Las segundas son los fertilizantes nitrogenados utilizados en los cultivos agrícolas (Pacheco *et al.*, 2002). Además los nitratos son

responsables del fenómeno de la eutrofización, la cual es el enriquecimiento desmesurado del agua con nutrientes (Orozco *et al.*, 2005).

La toxicidad del nitrato para el ser humano es atribuible principalmente a su reducción a nitrito (OMS, 1999). Las aguas con contenidos de nitratos mayor al límite recomendado (25 mg/L), al ser ingeridas por bebés de menos de seis meses producen dificultad respiratoria y síndrome del bebé azul, conocida también como metahemoglobinemia (pérdida de la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno), sino se trata a tiempo puede provocar la muerte (Perdomo *et al.*, 2001).

Los nitritos tienen mayor efecto nocivo en contraste con los nitratos, a pesar de que su presencia suele darse en pequeñas concentraciones, los nitritos tienen mayor importancia en el estudio de aguas residuales y contaminación de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Metcalf y Eddy, 1995).

El amonio es un indicador de contaminación fecal y causan problemas de olor y sabor en el agua. Por lo que las aguas con contenido mayoritariamente de nitrógeno orgánico y amoniacal se consideran contaminadas recientemente y existe un alto riesgo potencial (WHO, 2001).

- **Sulfato (SO_4)**

En la superficie, las fuentes de sulfato de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2) son abundantes en la atmósfera y su origen natural es la descomposición anaerobia de la materia orgánica (sedimentos y combustibles fósiles) y erupciones volcánicas (Orozco *et al.*, 2005).

Los sulfatos llegan al medio acuático mediante la oxidación del SO_2 atmosférico o proveniente de desechos industriales (APHA *et al.*, 1995); su

concentración en la mayoría de las aguas dulces es muy baja en contraste con las aguas geotérmicas de origen profundo que es alta (entre 40 y 50 mg/L).

El ión sulfato (SO_4^{2-}) es la forma oxidada estable del azufre, siendo muy soluble en agua. Sin embargo, los sulfatos de plomo, bario y estroncio son insolubles. El sulfato disuelto puede ser reducido a sulfito y volatilizado a la atmósfera como H_2S , precipitado como sales insolubles o incorporado a organismos vivos (APHA et al., 1995).

Los sulfatos sirven como fuente de oxígeno a las bacterias, en condiciones anaeróbicas, convirtiéndose en sulfuro de hidrógeno. Pueden ser producidos por oxidación bacteriana de los compuestos azufrados reducidos, incluyendo sulfuros metálicos y compuestos orgánicos (APHA et al., 1995).

- **Calcio Ca^{++}**

El calcio es un metal alcalino (térreo) y uno de los cationes más abundantes en aguas subterráneas y superficiales. Es fácilmente disuelto de las rocas ricas en minerales que lo contienen como calcita y dolomita, por el agua de escorrentía o de lluvia.

El calcio forma sales pocas solubles, el cual precipitan fácilmente como carbonato cálcico. El calcio y magnesio son los principales componentes de la dureza del agua, cuyas fuentes naturales provienen de rocas sedimentarias y la escorrentía, responsable de las incrustaciones en las tuberías (APHA et al., 1995). Por lo general, el agua subterránea es más dura con referente a la superficial. Las aguas residuales contribuyen de manera importante a las concentraciones de calcio en las aguas superficiales. La lluvia ácida puede incrementar el lixiviado de los iones calcio del suelo. El calcio es esencial para la nutrición humana. También

ayuda a mantener la estructura de las células de las plantas y es deseable en aguas de riego debido a que mejora la estructura del suelo.

Las altas concentraciones de calcio en el agua no son dañinas para la mayoría de los organismos acuáticos y puede más bien reducir la toxicidad en peces de algunos compuestos químicos.

González y Ortiz, (2002) comentan que las concentraciones de calcio en agua varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenidos mayores a las superficiales. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm, pudiendo llegar hasta las 600 ppm.

- **Cloruro (Cl)**

Las fuentes más comunes de cloruro son la halita, fuentes termales y salmueras (Houslow, 1995). Las concentraciones elevadas de cloruro le confieren al agua un sabor desagradable, el cual depende de la composición química del agua (OMS, 1995). Si el catión predominante es el sodio, una concentración de cloruro de 250mg/L puede tener un sabor salado detectable, pero si prevalecen el calcio y magnesio, no se detecta (APHA *et al.*, 1995). Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, a veces se encuentran valores superiores, las sales de cloruro forman compuestos inorgánicos estables que en cantidades apreciables imprimen el mal sabor del agua (Medina, 1984).

- **Hierro (Fe)**

El hierro es un elemento abundante y usualmente esta como férrico (Fe^{3+}) o en estado de oxidado en la superficie (Hounslow, 1995). El hierro férrico (producto de oxidación de hierro ferroso) da un color marrón rojizo desagradable al agua. En

concentraciones superiores a 3,0 mg/L, mancha la ropa lavada y las instalaciones fontanerías (OMS, 1995).

La permanencia y aparición depende del pH, en condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución, etc. Afecta la potabilidad del agua y en los procesos industriales provoca incrustaciones en tuberías.

García, (2005) indica que “el hierro en cantidad $>0,2$ mg/l transfiere un sabor astringente al agua de bebida e interfiere en numerosos procesos industriales,...”. El tratamiento adecuado para disminuir sus concentraciones es por medio de la oxidación mediante cloro, permanganato, aire, etc. y posterior filtrado. Si el agua es de origen superficial el hierro se presentara en estado de oxidado, pudiéndose eliminar por filtración.

- **Sodio (Na^+)**

Las principales fuentes de sodio son la halita (NaCl) espuma del mar, manifestaciones hidrotermales, salmueras, algunos silicatos y minerales raros como la nacolita (NaHCO_3) (Hounslow, 1995). En el agua, el sodio se origina del intercambio iónico natural, en donde la arcilla que la contiene reacciona con el calcio o magnesio y la libera (reacción 1) (Hounslow, 1995).



El sodio se encuentra en niveles elevados en aguas subterráneas, donde hay abundancia de depósitos de minerales de sodio, o por infiltración de aguas geotérmicas de origen profundo (superior a 3000 mg/L), mientras, en cuerpos de agua superficiales de las nacientes el contenido es relativamente bajo (APHA *et al.*, 1995).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) establece un límite de 200 mg/L en el agua de consumo humano. Algunas aguas superficiales, incluyendo

aquellas que reciben descargas de aguas residuales tienen valores de concentración debajo de los 50 mg/L. Aunque las aguas subterráneas pueden exceden los 50 mg Na⁺/L.

- **Manganeso (Mn⁺⁺)**

El manganeso es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, es un elemento de origen natural que puede estar presente en agua, suelo y aire. Es un nutriente esencial y necesario en pequeñas cantidades para la salud de seres humanos y animales y la exposición a altas concentraciones puede ser perjudicial (EPA, 2004 y OMS, 2006).

A pesar de encontrarse naturalmente en suelos y aguas tanto superficiales como subterráneas debido a la erosión de las rocas, existen actividades humanas responsables de gran parte de la contaminación por este metal (OMS, 2011).

Hay dos formas de Mn en el medio ambiente: Mn inorgánico y orgánico, así como una variedad de usos para ambos. Según (Ljung *et al.*, 2007), los compuestos orgánicos del Mn se utilizan en algunos fungicidas como el mancozeb y el maneb. El Mn orgánico también se utiliza como aditivo para gasolina, fertilizantes entre otros y pueden estar presentes como partículas de polvo en el aire las cuales se pueden disolver en el agua (EPA, 2007).

Como otras características del Mn, su presencia a concentraciones mayores que 100µg/L Mn en los sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable, mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios al precipitarse cuando se oxida (OPS y CEPIS, 2005).

Para la EPA, (2013) el manganeso es considerado un contaminante secundario y se recomienda un valor de 50 µg Mn/L, pero el cumplimiento de este valor no es obligatorio. Además, propone como valor máximo permisible 300 µg/L

Mn. Por otra parte, la OMS en sus guías para la calidad del agua potable, expone un valor de referencia de 400 µg/L Mn, un valor inocuo para la salud cuando se consume durante toda una vida (OMS, 2006).

- **Potasio (K)**

El potasio es otro componente mayoritario encontrado en elevada concentración en las aguas geotérmicas de origen profundo (entre 500 y 600 mg/L). La infiltración de estas se manifiesta en un alto contenido de potasio en los cuerpos de agua superficiales de las nacientes (APHA *et al.*, 1995). En aguas naturales las concentraciones de potasio son menores a 10 mg K⁺/L, aunque puede aumentar por deposición atmosférica, escorrentía de terrenos agrícolas e influencia de drenajes de irrigación. Por ser elementos esenciales, para la nutrición de las plantas, su presencia en el agua es beneficiosa.

Parámetros biológicos del agua

El agua destinada al consumo humano y uso doméstico debe estar libre de patógenos. La mayor parte de las enfermedades transmitidas a través del agua tiene su origen en la ingestión de agua contaminada por microorganismos de origen fecal y por lo tanto producen cuadros diarreicos en las personas. Existen muchas fuentes de contaminación, dentro de las más comunes se encuentra la ingestión de alimentos o agua contaminada con heces provenientes del tracto gastrointestinal del hombre y otros animales de sangre caliente. Los principales indicadores para la evaluación de la calidad bacteriológica del agua son los coliformes fecales y la bacteria *Escherichia coli*, ambos provienen de las heces de origen humano y animal (Henry y Heinke, 1995).

- **Coliformes totales**

De acuerdo a lo expresado por Ramos *et al.* (2007), generalmente se emplea un grupo de bacterias como indicadores de contaminación. Las bacterias son *Escherichia coli*, *Streptococcus fecales* y Clostridios (anaerobios y formadores de esporas). Este grupo de coliformes incluye todos los bacilos gram-negativos, no esporulados, anaerobios facultativos, oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares u otros compuestos activos, fermentan la lactosa a temperatura de 35°C ó 37°C, con producción de ácido, gas y aldehído entre 24 y 48 horas. La medición se hace empleando técnicas estadísticas “número más probable” (índice NMP) en ml de agua.

- **Coliformes fecales (CF)**

Coliforme significa con forma de Coli, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia Coli*. El grupo Coliformes abarca todas las bacterias entéricas que se caracterizan por tener las siguientes propiedades bioquímicas:

- Ser aerobias o anaerobias facultativas.
- Ser bacilos Gram negativos.
- Ser oxidasa negativos.
- No ser esporógenas.

Fermentar la lactosa a 35 °C en 48 horas, produciendo ácido láctico y gas estos organismos los han considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano basados en los medios acuáticos, los Coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es primordialmente fecal. Por lo tanto, la ausencia de ellos indica que el agua es bacteriológicamente segura.

En general, las bacterias Coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La presencia de bacterias

Coliformes en el suministro de agua es un indicio de que puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición (Samboni *et al.*, 2007).

Los coliformes fecales son un subconjunto del grupo de coliformes totales, *E. coli* el mayor subconjunto del grupo de coliformes totales. Se distinguen en el laboratorio por su capacidad para crecer a elevadas temperaturas (44.5C°). Los coliformes fecales y el *E. coli*, son mejores indicadores de la presencia de contaminación fecal reciente que los coliformes totales, pero no distinguen entre contaminación humana y animal (AWWA, 2002). Las comunidades microbianas son importantes bioindicadores de la contaminación de aguas por materia orgánica, y se evidencian por el incremento poblacional en respuesta a estos contaminantes (Bozo *et al.*, 2007).

Eaton *et. al*, (2005) señalan que los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias entéricas, capaces de fermentar la lactosa por lo que también se les conoce como coliformes termotolerantes. En este se destacan principalmente bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* y *Enterobacter sp.*

Escherichiacoli (E.Coli)

Es una bacteria perteneciente a la familia Enterobacteriaceae, es un huésped constante del intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, capaz de causar infecciones gastrointestinales (APHA, 1995). Por su especificidad está considerada como un buen índice de contaminación fecal reciente, la cual está relacionada con las descargas de aguas residuales domésticas (OMS, 1995), y su detección implica investigar las fuentes potenciales o el sistema de distribución (WHO, 2001).

Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA) es uno de muchas herramientas efectivas para comunicar información sobre la calidad del agua (Tiara y Mishra 1985; Singh 1992; SubbaRao 1997; Mishra y Patel 2001; Naik y Purohit 2001). Como tal, es un indicador importante para la evaluación y gestión del agua subterránea. El ICA se define como una calificación compuesta de diferentes parámetros de calidad del agua (Sahu y Sikdar, 2008).

Es un instrumento usado frecuentemente en la evaluación de los cuerpos de agua; con el fin de simplificar la expresión de un conjunto complejo y multidimensional de parámetros físico-químicos y biológicos (Bordalo *et al.*, 2001; Stambuk Giljanovic, 2003) y permite comparar valores entre diferentes cuerpos de agua con base en una calificación única.

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 es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua (Samboni *et al.*, 2007).

Para Guillén, *et al.*, (2012) el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto para el agua en excelentes condiciones tendrá un valor cercano al 100%.

Por otra parte Schreider, (2011), el índice de calidad del agua (ICA), brinda información sobre el estado actual del agua, cuya función es generar políticas de salud pública, políticas ambientales y de sostenibilidad para garantizar el acceso a las futuras generaciones. Un índice de calidad de agua (ICA), se obtiene mediante parámetros adicionados en una fórmula matemática, el cual asigna un número que se le atribuye un valor cualitativo en un rango determinado (Benavides, 2008). Es una herramienta que permite de forma sintetizada, clara, sencilla y de fácil

comprensión la información de parámetros monitoreados por las entidades en los procesos de seguimiento, evaluación y control de las fuentes de agua (Betancourt *et al.*, 2012).

Los índices de calidad de agua (ICA), dan una idea de las sustancias contaminantes presentes en las aguas superficiales, es deber de las autoridades ambientales y sanitarias tomar las medidas necesarias para evitar estos focos de contaminación y que cumplan con la normatividad vigente (González, 2012). Los índices de calidad de agua (ICA), resumen y simplifican, en un único valor numérico, el cúmulo de información disponible sobre la calidad del agua (Pérez *et al.*, 2008). El índice de calidad de agua (ICA), está formado por la agrupación simplificada de parámetros, indicadores de deterioro de la calidad de agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua, sin embargo, debe de reducir la gran cantidad de parámetros en una fórmula matemática simple. (Flores *et al.*, 2013).

Los Índices de calidad de agua (ICA), permiten estimar tendencias en la variación de la calidad de las aguas, asesorar sobre la calidad del agua a lo largo del tiempo y en distintos puntos de un sistema acuático, identificar secciones deterioradas por la contaminación y estudiar los efectos de los vertidos sobre la biota asociada a las aguas receptoras para estimar la capacidad de autodepuración de las mismas y monitorear el progreso de programas de control de la contaminación (Lacoste, 1996).

Historia del Índice de calidad del agua (ICA)

La importancia de los índices de calidad del agua (ICA), se remite a la segunda guerra mundial y se cree que Horton en 1965 fue uno de los pioneros según (García, 2012), logrando así, su importancia desde los años 70 hasta el día de hoy (Torres *et al.*, 2009).

A través de la historia se han desarrollado muchos índices de calidad de agua usados como herramienta de evaluación y control a los cuerpos de aguas, teniendo su mayor importancia hacia la última década del siglo XX empleado por muchas entidades de distintos países (Del Saz *et al.*, 2011). El desarrollo industrial de los países, incorpora la fabricación y usos de muchas sustancias nocivas para la salud y el medioambiente que van a parar a las fuentes de aguas las cuales abastecen las ciudades, a partir de esto los índices de calidad del agua adquieren mayor importancia para su seguimiento, control y evaluación como herramienta fundamental (Brenes *et al.*, 2012).

Posteriormente, la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NFS), desarrolla un nuevo índice que denominó Water QualityIndex (WQI), creado en 1970 siendo en la actualidad los más utilizados por las entidades en los Estados Unidos (Gallego *et al.*, 2010).

Hacia 1987 en los Estados Unidos se desarrollan otros índices de calidad de agua, NSF- WQI y el ICA Dinius, a partir de estos, en otros países se han hecho modificaciones para su uso en la evaluación y control del recurso hídrico, de acuerdo a las características ambientales de sus ecosistemas y del agua (Aguirre *et al.*, 2008).

Con la creación de la Comunidad Económica Europea, en el año 2007, proponen un nuevo índice de calidad de agua universal, el cual llamaron UWQI, para evaluar la calidad de aguas superficiales y su potabilidad, donde se emplean doce parámetros fisicoquímicos: Cadmio, Cianuro, Mercurio, Selenio, Arsénico, Fluoruro, Nitratos, Oxígeno disuelto, demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo Total, pH y Coliformes Totales (Torres *et al.*, 2009).

En México y Latinoamérica muchos de estos índices de calidad de agua, han sido adaptados a las condiciones de sus sistemas hídricos para ser utilizados como medida de evaluación y control del recurso hídrico (Aragüés, 2011). Ya desde 1948,

se tenía información desde Alemania de algunos usos de índices de calidad del agua, la presencia o ausencia de microorganismos (Benezet *et al.*, 2010). Luego, se crea el índice holandés para medir la calidad de aguas superficiales utilizando varios parámetros fisicoquímicos (Fernández *et al.*, 2003).

En Colombia en 1997 la Universidad del Valle, desarrolla un índice de calidad de agua denominado "ICA Río Cali", empleando tres parámetros fisicoquímicos: Oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales (Beharet *et al.*, 2011).

Más adelante, en el año 2004 en la Universidad del Cauca se propone un índice de calidad de agua, al que llamaron ICAUCA, utilizando diez parámetros fisicoquímicos: Oxígeno Disuelto, pH, Color, Turbiedad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes Fecales (Torres *et al.*, 2009). Lo anterior, facilita a las autoridades ambientales herramientas para evaluar la calidad del agua, a partir, de los índices de calidad de agua, (ICA), propuestos.

Clasificación y uso de los índices

Los índices pueden clasificarse en diez categorías (Samboni *et al.*, 2007), orientados de acuerdo a su uso dentro de cuatro grupos, así:

Grupo I, se aplica a los sensores e incluye dos categorías: *Indicadores en la fuente*: reportan la calidad de agua generada por sensores en fuentes discretas. *Indicadores en un punto diferente a la fuente*: reportan la calidad del agua generada por fuentes difusas.

Grupo II, miden la capacidad de estrés: *Indicadores de medidas simples*: incluyen muchos atributos y componentes individuales del agua, que pueden ser

usados como indicadores de su calidad. *Indicadores basados en criterios o estándares*: correlacionan las medidas de calidad del agua con los niveles estándar o normales determinados para la preservación y usos adecuados del agua. *Los Índices multiparámetro*: se determinan por la opinión colectiva o individual de expertos. *Los Índices multiparámetros empíricos*: son establecidos por el uso de las propiedades estadísticas de las mediciones de calidad del agua.

Grupo III, indicadores para lagos: específicamente desarrollados para este tipo de sistemas.

Grupo IV, tiene en cuenta las consecuencias: *Indicadores de la vida acuática*: basados en diferentes reacciones de tolerancia de la biota acuática a varios contaminantes y condiciones. *Indicadores del uso del agua*: evalúan el agua respecto a usos como abastecimiento y agricultura. *Indicadores basados en la percepción*: se determinan por la opinión pública y los usos de los cuerpos de agua.

Procedimiento general para la formulación de un índice de calidad de agua

Para la formulación del Índice de Calidad de Agua es necesario tomar en cuenta las siguientes variables:

- Selección de parámetros.
- Determinación de los valores para cada parámetro: subíndices.
- Determinación del Índice por la agregación de los subíndices.

En primera instancia, para la selección de parámetros se pueden considerar entre dos y un número infinito de los mismos. La opción para la consideración de éstos, se da acorde con las circunstancias, estándares y criterios de tiempo y localización, además del concepto de un experto en la materia (Brown, 1970).

Tomando en cuenta el Índice a utilizar, es necesario determinar los subíndices para la evaluación numérica que determina la calidad del agua, ello en función de:

- Asignar un valor numérico, para compararlo con el valor del parámetro y un valor estándar o criterio.
- Convertir el parámetro en un número dimensional por medio de diagramas de calibración. En este caso se debe desarrollar para cada parámetro su propio diagrama, en el cual indica la correlación entre el parámetro y su valor en la escala de calidad.
- Desarrollar para cada parámetro una formulación matemática, con el fin de convertir los valores del parámetro de acuerdo con varias escalas, con lo cual los valores del parámetro conservan sus unidades originales.(Brown, 1970)

Se requiere que el Índice de Calidad de Agua de una respuesta como sistema de integración de los subíndices que lo conforman. Cada uno de los parámetros es representado de forma gráfica con una curva, la cual representa la variación de la calidad de agua causada por distintos grados de contaminación. Dichas curvas son conocidas como “Curvas de función”.

El cálculo del índice de calidad de agua se estableció con la aplicación de la suma ponderada en donde se califica con valores de 0 a 100 en donde 0 representa una mala calidad de agua y 100 una excelente (Ott, 1978).

Cuadro 2. Ventajas y Desventajas del ICA (Índice Calidad de Aguas)

Ventajas	Desventajas
• Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua. • Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de	• Proporcionan un resumen de los datos. • No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.

los datos generados regularmente en el laboratorio. • Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales. • Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos. • Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas. • Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas. • Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua. • Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.	• No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua. • Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación. • No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra. • Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal. • Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión.
---	--

(A. Sacha, and C. Espinoza, 2001). (F. Nasiri, I. Maqsood, G. Huang *et al.*, 2007).

Regresión lineal simple

Modelo de regresión

Los factores en un experimento pueden ser cuantitativos o cualitativos. Un factor cuantitativo es aquel cuyos niveles pueden asociarse con puntos en una escala numérica, como la temperatura, humedad relativa, conductividad eléctrica, presión o el tiempo. Los factores cualitativos son aquellos cuyos niveles no pueden ordenarse por magnitud. Los operarios, los proveedores, los turnos de trabajo y las

máquinas son factores cualitativos, por la inexistencia para ordenarlos bajo algún criterio numérico particular (Montgomery, 2008).

Se conoce como **regresión simple** el cálculo de la ecuación correspondiente a la línea que mejor describe la relación entre la respuesta y la variable independiente. Dicha ecuación representa la línea que mejor se ajusta a los puntos en un gráfico de dispersión (ver Figura 1).

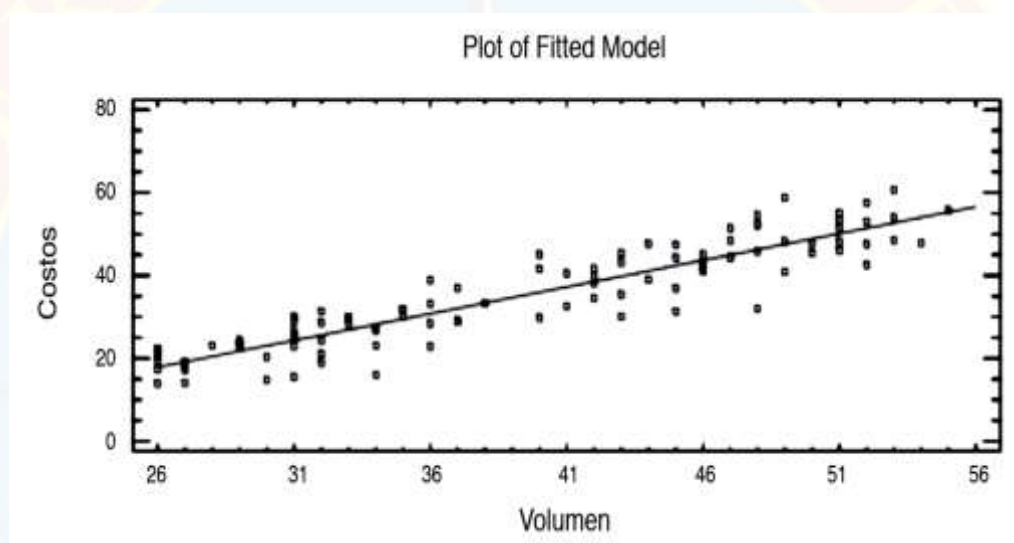


Figura 1. Representación de una ecuación de regresión simple para la relación entre costos y volumen, (Montgomery, 2008).

En la regresión simple se tiene una única variable predictora. Algunas veces se tiene interés en dos o más variables regresoras o predictoras. En esos casos, se debe recurrir al uso de regresión múltiple. A partir de la regresión lineal es posible hacer predicciones sobre la respuesta con base en valores de la variable predictora.

La ecuación para una línea recta es:

$$Y = b_0 + b_1 X \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

Y es la variable respuesta;

X es la variable predictora

b_0 es la intersección, determina el valor de y cuando x es cero, y

b_1 es la pendiente, determina la cantidad en la que cambia y cuando x se incrementa en una unidad.

Las distancias entre los puntos y la línea de regresión se llaman residuos. Ellos representan la porción de la respuesta inexplicada por la ecuación de regresión; es decir la diferencia entre el valor observado y el valor aproximado es el residuo. En cualquier análisis de regresión se observará algunos puntos cercanos a esta a línea y otros más lejos de ella. Entre más cerca se encuentren los puntos a la línea, mejor será el ajuste entre la línea de regresión y el dato. Los residuos permiten verificar la ecuación con el fin de comprobar cuanto bien se ajusta la línea a los datos (Montgomery, 2008).

En resumen, se puede establecer la pendiente de una ecuación de regresión indica el efecto de la variable predictora sobre la variable respuesta. En la regresión se utilizan los llamados mínimos cuadrados, también conocidos como mínimos cuadrados de regresión, los cuales determinan la línea que minimiza la suma de las distancias verticales cuadradas, desde los puntos hacia la recta (ver Figura 2).

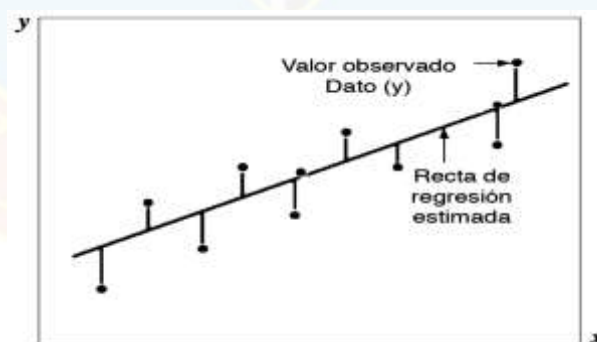


Figura 2. Representación de los mínimos cuadrados. (Montgomery, 2008).

Prueba de hipótesis y R^2

Para comprobar si la línea de regresión es significativa, se establecen las siguientes relaciones:

- Hipótesis nula $H_0, \beta_1=0$
- Hipótesis alternativa $H_1, \beta_1 \neq 0$
- P es la probabilidad, está dada entre 0 y 1.

Se comprueba si el valor verdadero de la pendiente, β_1 , es igual a 0. Si la línea es totalmente horizontal, la pendiente es cero y no existe ninguna relación lineal entre las variables. Pero, si la línea no es horizontal, la pendiente no es cero, y puede ser que exista una relación entre las variables (Montgomery, 2008).

Si el valor de $P > \alpha$, no se rechaza H_0 y si $P \leq \alpha$, se rechaza H_0 . Esto implica el rechazo de la hipótesis nula cuando la pendiente es igual a cero. Un valor común para α es 0,05.

Después de determinar la relación entre variables es estadísticamente significativa, se puede establecer si la respuesta se explica por la variable de regresión, es decir, si la variable predictora explica la mayor parte de las variaciones en la respuesta. En este caso, los puntos en el gráfico de dispersión están ubicados cerca de la línea y los residuos son pequeños.

Para medir cuan alejado está un resultado de la respuesta o cuánta variabilidad existe en la respuesta, de acuerdo a la variable explicatoria, se utiliza R^2 . R^2 es un valor entre cero y uno expresado usualmente como un porcentaje, para hacerlo más fácil de interpretar. Como porcentaje tiene su valor entre 0% y 100%.

Para determinar si una variable predictora está relacionada con la variable respuesta, se puede llevar a cabo una prueba de hipótesis de la pendiente. La hipótesis nula establece la pendiente cero y la hipótesis alternativa específica la pendiente no es cero. Si el valor P de la prueba es menor α , se rechaza la hipótesis nula y

se concluye que la variable predictora está significativamente relacionada con la variable respuesta.

El valor de R^2 establece numéricamente si la línea de regresión se alinea o encaja con los puntos e indica cuánta variación existe en la variable respuesta y si esta se explica por la variable de regresión (Montgomery, 2008).

En la regresión se deben cumplir los tres rubros siguientes:

1. Los errores son aleatorios e independientes.
2. Los errores tienen una distribución normal.
3. Los errores tienen varianza constante a lo largo de todos los valores de X.

Tipos de factores en el modelo de regresión

Tomando en consideración el diseño inicial y el análisis de un experimento, los factores involucrados se tratan de manera idéntica. El investigador está interesado en determinar diferencias, en caso de haberlas, entre los niveles de los factores. En algunos modelos puede encontrarse que la diferencia en las respuestas asociadas a los niveles de un factor no es la misma que en las respuestas asociadas a otro u otros factores. Cuando esto ocurre, existe una interacción entre los factores; si además algunos factores del diseño son cuantitativos, entonces una representación en un modelo de regresión del experimento factorial de un factor, podría escribirse como sigue (Gutiérrez y De la Vara, 2012):

Si la recta de regresión es

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \dots\dots\dots \text{Ec.2}$$

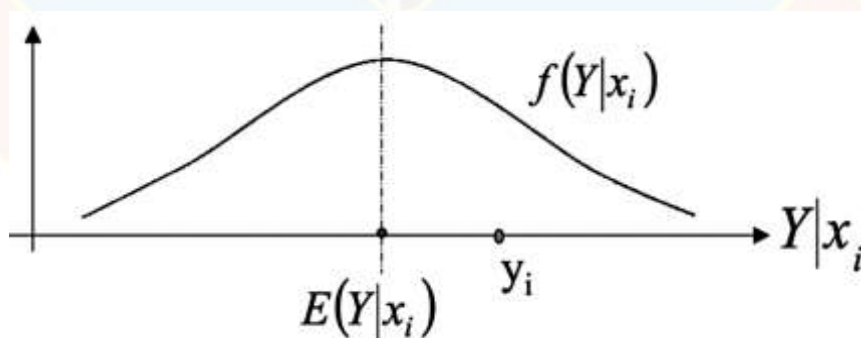
Cada valor observado Y_1 para un X_1 puede considerarse como el valor esperado de Y dado más un error (expresado como ε_1):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon_1 \dots \dots \dots \text{Ec.3}$$

Donde los ε_1 se suponen errores aleatorios con distribución normal, media cero y varianza σ^2 ; β_0 y β_1 son constantes desconocidas (parámetros del modelo de regresión). Al enfoque general para ajustar modelos empíricos se le llama análisis de regresión, el cual toma en consideración la respuesta a un evento determinado.

El análisis de regresión es una técnica estadística para investigar la relación funcional entre dos o más variables, mediante ajustes en un modelo matemático. La regresión lineal simple, como ya se dijo, utiliza una sola variable de regresión y el caso más sencillo es el modelo de línea recta. Supóngase que se tiene un conjunto de pares de observaciones (X_1, Y_1) , se busca encontrar una recta que describa de la mejor manera cada uno de esos pares observados.

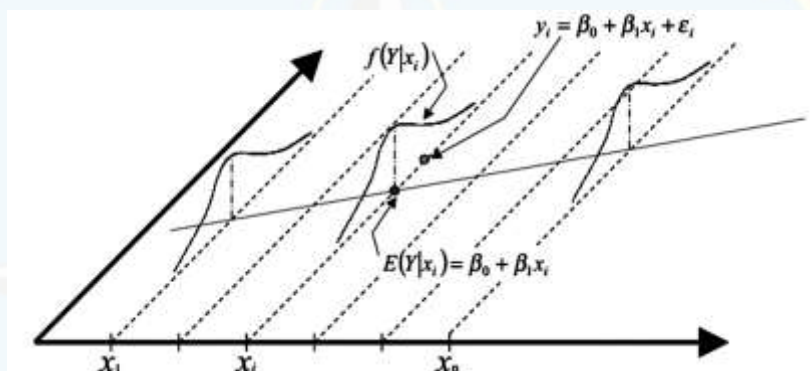
Se considera que la variable X es la variable independiente o regresiva y se mide sin error, mientras Y es la variable respuesta para cada valor específico x_i de X ; además, Y es una variable aleatoria con alguna función de densidad para cada nivel de X . En las figuras 3 y 4, se muestra esta relación (Gutiérrez y De la Vara, 2012).



**Figura 3. Densidad de la variable respuesta Y .
(Gutiérrez y De la Vara, 2012).**

Puede resultar útil para el investigador ajustar una curva de respuesta a los niveles de un factor cuantitativo para contar así con una ecuación que relacione la respuesta con el factor. Esta ecuación podría utilizarse para hacer interpolaciones, es decir, para predecir la respuesta en niveles intermedios de los factores, respecto de los que se utilizaron realmente en el experimento.

Cuando al menos dos de los factores son cuantitativos, puede ajustarse una superficie de respuesta para predecir Y con varias combinaciones de los factores del diseño. En general, se usan métodos de regresión lineal para ajustar estos modelos a los datos experimentales (Gutiérrez y De la Vara, 2012).



**Figura 4. Valor esperado de Y dado X
(Gutiérrez y De la Vara, 2012).**

Modelos de regresión múltiple

El modelo de regresión múltiple es la extensión del modelo de regresión simple a k variables explicativas. La estructura del modelo de regresión múltiple es la siguiente:

$$Y = F(X_1, \dots, X_k) + \epsilon \dots \dots \dots \text{Ec. 4}$$

Donde

Y es la variable explicada, dependiente o respuesta.

$X_1 \dots X_k$ son las variables explicativas, regresores o variables independientes.

$Y = F(X_1, \dots, X_k)$ es la parte determinista del modelo.

ϵ representa el error aleatorio. Contiene el efecto sobre de todas las variables distintas de $X_1 \dots X_k$.

El modelo de regresión lineal múltiple tiene la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \dots \dots \dots \text{Ec.5}$$

El modelo de regresión lineal múltiple se utiliza cuando

1. La variable dependiente, Y, depende linealmente de cada una de las variables explicativas $X_1, \dots, X_k$.
2. Un regresor no basta para explicar suficientemente la variabilidad de Y (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Modelo de regresión múltiple con dos regresores

En el caso particular de dos regresores, $k = 2$, el modelo tendría la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon \dots \dots \dots \text{Ec.6}$$

Gráficamente, el modelo de regresión lineal con dos regresores supone calcular la ecuación de un plano que describe la relación de Y con X_1 y X_2 . En la figura 5, se muestra la relación entre Y, con X_1 y X_2 .

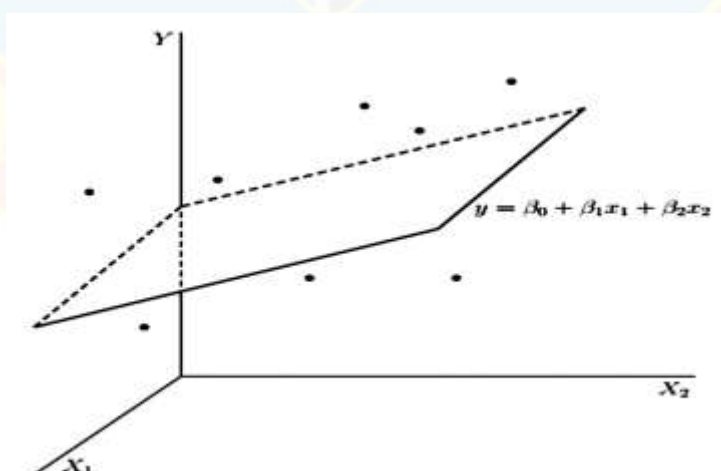


Figura 5. Modelo de regresión lineal con dos regresores

(Gutiérrez y De la Vara, 2012).

La estimación por mínimos cuadrados de los parámetros del modelo consiste en calcular la ecuación del plano que haga mínimo el valor de con $\sum e_i^2$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \dots\dots\dots \text{Ec.7}$$

En la figura 6 se muestra el plano con la estimación por mínimos cuadrados (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Hipótesis del modelo de regresión múltiple

Generalizando, al ajustar un modelo de regresión lineal múltiple, se supondrá que se verifican las siguientes hipótesis:

1. Fijados los valores $X_{1i}, \dots, X_{ki}$ de las variables $X_1, \dots, X_k$, se tiene

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon_i \dots\dots\dots \text{(Ec.6)}$$

2. Cada error $\epsilon_i \approx N(0, \sigma^2)$.
3. Cualquier par de errores ϵ_i y ϵ_j son independientes.
4. Las variables explicativas son, algebraicamente, linealmente independientes.
5. El número de datos es mayor o igual que $k + 1$.

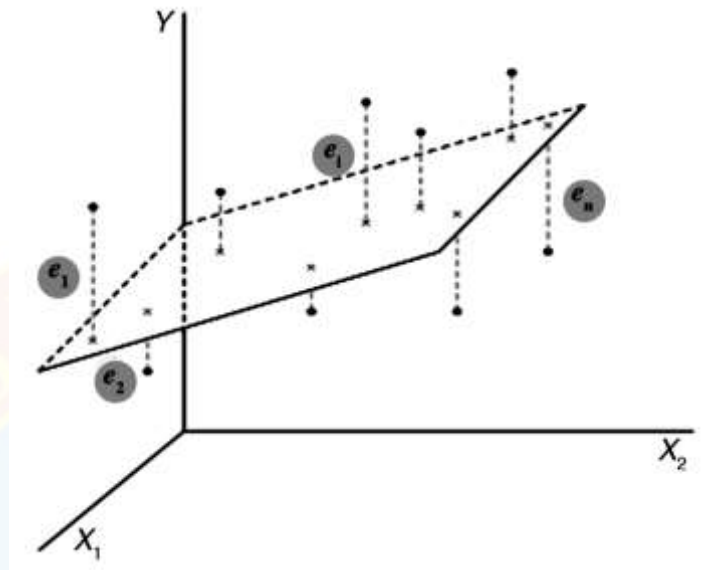


Figura 6. Plano para la estimación por mínimos cuadrados en un modelo con dos regresores (X_1 y X_2) (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Se llega a las siguientes observaciones:

1. Las tres primeras hipótesis del modelo se justifican igual al de la regresión simple.
2. La condición de independencia lineal algebraica de los regresores tiene por objeto ajustar la dimensión del problema, porque se incumpliese se pueden eliminar regresores del modelo.
3. El número de datos debe ser mayor o igual que $k + 2$ para poder estimar todos los parámetros del modelo.

Parámetros del modelo de regresión múltiple

1. El parámetro β_i , en regresión múltiple, representa el efecto del aumento de una unidad del regresor sobre la respuesta, Y , cuando el resto de los regresores permanecen constantes.

2. Si los regresores no se interrelacionan, $\rho_{ij} = 0$, para todo i, j , los estimadores de los coeficientes de regresión en el modelo múltiple y en los distintos modelos simples coinciden.

Se puede demostrar que

1. $\hat{\beta}^i$ sigue una distribución normal, para todo $i = 0, \dots, k$.
2. Para todo $\hat{\beta}^i$, con $i = 0, 1, \dots, k$, se cumple que $E(\hat{\beta}^i) = \beta_i$. Es decir $\hat{\beta}^i$ es un estimador centrado de β_i , para todo i .
3. La matriz de varianzas y covarianzas de $\hat{\beta}^0, \dots, \hat{\beta}^k$ viene dada por la expresión: $\text{COV}(\hat{\beta}) = \sigma^2 (X'X)^{-1}$ (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Prueba de hipótesis en el modelo de regresión múltiple

En la prueba de hipótesis en el modelo de regresión múltiple, se establecen comparaciones de hipótesis nula y alternativa:

- Hipótesis nula $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$
- Hipótesis alternativa H_1 : Existe algún β_i con $i=1, \dots, k$ tal que $\beta_i \neq 0$.

La aceptación de la hipótesis nula de la Prueba de Hipótesis, representada por la letra F.

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \dots \dots \dots \text{Ec.8}$$

Puede ser debida a

- Independencia de la variable explicada (respuesta) frente a todas las variables predictoras /regresoras.
- Dependencia no lineal de la variable respuesta respecto de alguna variable predictora.

El rechazo de la hipótesis nula significa que la variable explicada depende linealmente de alguno de los regresores.

- Para determinar cuál o cuáles de las variables independientes/predictivas explican significativamente a la variable dependiente, es necesario tomar en consideración las comparaciones individuales.

El tratamiento de la multicolinealidad consiste en eliminar regresores del modelo con alta correlación, y con esto disminuye el número de parámetros a determinar (Gutiérrez y De la Vara, 2012).

Diagnóstico y validación del modelo de regresión múltiple

Antes de utilizar el modelo de regresión múltiple, es necesario verificar las hipótesis básicas del modelo y esto se realiza por medio del análisis de los residuos (Montgomery, 2008).

Se pueden considerar las siguientes particularidades:

1. La normalidad del error.
2. Las hipótesis de linealidad, homocedasticidad (la varianza del error es constante) e independencia.
3. La conveniencia de introducir una nueva variable.

Finalizado el proceso de definición y validación del modelo de regresión múltiple, se puede utilizar para hacer predicciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

SITIO DE ESTUDIO

El índice de calidad de agua propuesto en este trabajo se llevó a cabo en la cuenca del río Guarapiché el cual presenta una longitud de aproximadamente 238,04 km y forma parte de la Región Hidrográfica Oriental de Venezuela (MINAMB, 2006).

La cuenca del río Guarapiché, está ubicada en la región Nor-oriental de Venezuela; cubriendo parte del noroeste y noreste del estado Monagas, donde se encuentran los municipios Acosta, Cedeño y Maturín (Figura 7).



Figura 7. Ubicación relativa del área de estudio (Vizcaino, 2012).

En esta cuenca se destacan las poblaciones agrícolas de Miraflores, Tristé, San Félix de Caicara, Merecure, Jusepín, Candelaria, San Vicente, La Cruz, Bajo Guarapiché, Plantación y Vuelta Larga, que representan el nivel socio productivo del estado (MARNR, 1980) y alto crecimiento demográfico, por la intervención de la actividad petrolera.

Se tomaron en cuenta para este estudio, los resultados de los análisis de agua obtenidos del trabajo de grado realizado por Vizcaino (2011), donde se seleccionaron siete estaciones de muestreo ubicados en puntos cercanos a las comunidades que se abastecen del río Guarapiché para sus actividades esenciales. (Figura 8 y cuadro 3).

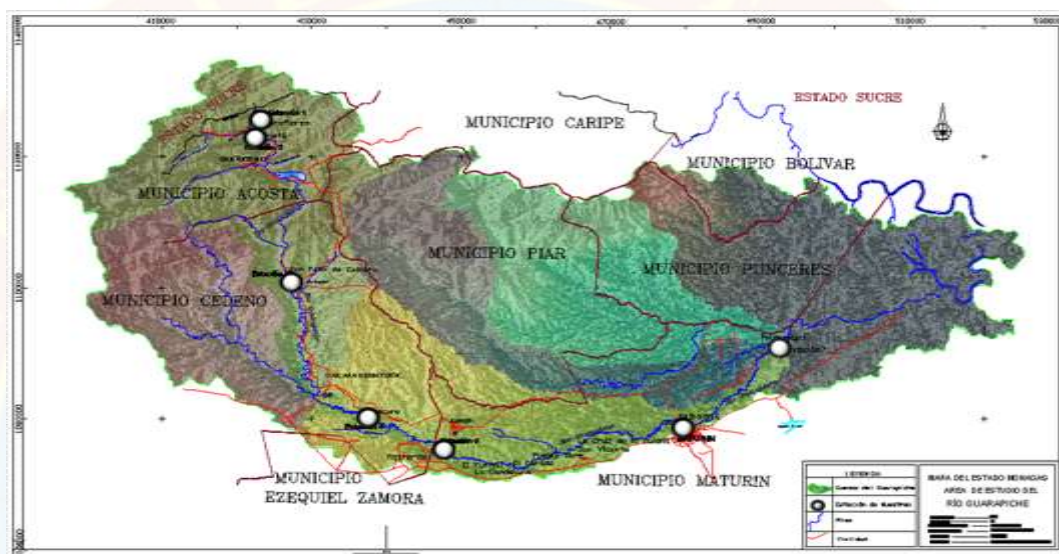


Figura 7. Ubicación de las estaciones de muestreo. Río Guarapiché, Monagas, Venezuela Período Febrero-Julio 2011 (Vizcaino,2012).

Cuadro 3 Coordenadas Geográficas y UTM de las Estaciones analizadas en el Río Guarapiché, Estado Monagas, Venezuela. Período Febrero –Julio 2011. (Vizcaino,2012).

EST	LOCALIDAD	ALTITUD (m)	COORDENADAS			
			GEOGRÁFICAS		UTM	
			LAT	LONG	NORTE	ESTE
1	Miraflores	524	10°10'46"	63°42'0"	1125354	423320
2	Tristé	471	10°09'22"	63°42'27"	1122757	422497
3	San Félix de Caicara	235	09°57'35"	63°39'31"	1101042	427822
4	Merecure	110	09°46'18"	63°33'54"	1080219	438035
5	Jusepín	80	09°10'47"	63°28'33"	1075566	447808

6	Bajo Guarapiche	33	09°45'34 ”	63°11'0”	107880 8	47987 8
7	Palmonagas	12	09°52'08 ”	63°03'57”	109091 5	49277 1

Datos extraídos del dispositivo GPS modelo Magellan, 2011. DatumRegven.

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Para la determinación del ICA se siguió la metodología propuesta por Tiwari y Mishra (1985) y Singh (1992), que consistió de tres pasos.

En el primer paso, se le asignó un peso (W_i) a cada uno de los catorce parámetros (temperatura, pH, dureza, CE, nitrato, nitritos, sulfato, cloruros, OD, Fe, Mn, Na, K y, CF) de calidad del agua de acuerdo con su relativa importancia en la calidad general del agua para consumo humano.

Los valores asignados estuvieron en el rango de 1-4. Se asignó mucho peso a los parámetros que tiene efectos críticos para la salud y cuya presencia por encima de ciertos límites de concentración crítica pueden limitar el uso doméstico del recurso (Yidana *et al.* 2010). El peso máximo de 4 ha sido asignado a los parámetros como OD, Mn y CF debido a su mayor importancia en la evaluación de la calidad del agua (Srinivasamoorthy *et al.* 2008). El peso mínimo de 1 ha sido asignado a los parámetros temperatura, dureza, potasio y sodio, debido a la menor importancia en la evaluación de la calidad del agua. Otros parámetros como pH, conductividad eléctrica, hierro, nitritos, nitratos, sulfatos y cloruros se les asignaron un peso entre 1 y 4 dependiendo de su importancia en la determinación de la calidad del agua (Cuadro 4).

Entonces, el peso relativo (**RW**) de cada elemento se calculó mediante la ecuación (9) de la siguiente manera (Singh 1992):

$$RW = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots \text{Ec.9}$$

Donde:

RW = el peso relativo,

Wi = el peso asignado de cada parámetro,

n = el número de parámetros.

$\sum_{i=1}^n Wi$ = Sumatoria de todos los pesos relativos

Los valores de peso relativo calculados (RW) de cada parámetro se dan en el Cuadro 4.

Cuadro 4 Peso relativo de los parámetros de calidad del agua.

Parámetros	Unidades	Estándar de Calidad del agua	Peso Asignado Wi	Peso Relativo RW
pH		6.5-8.5(8.0)	2	0.063
OD	mg/l	4	4	0.126
Temperatura	°C	20	1	0.032
Conductividad	μS/cm	3000	2.5	0.079
Dureza	mg/l	500	1	0.032
K	mg/l	20	1	0.032
Na	mg/l	200	1	0.032
Fe	mg/l	1	3	0.095
Mn	mg/l	0.1	4	0.126
NO ₃	mg/l	50	2.2	0.069
NO ₂	mg/l	3	2	0.063
SO ₄	mg/l	400	2	0.063

CF	NMP	100	4	0.126
Cl	mg/l	600	2	0.063
Total			31.7	1

En el segundo paso, se calculó una escala de calificación de calidad (Q_i) para todos los parámetros, excepto para el pH y OD; dividiendo la concentración observada en cada muestra de agua por su estándar respectivo, de acuerdo su valor respectivo, según las directrices de la OMS (2009), o los estándares venezolanos para el agua potable enunciados en el Decreto 883, el resultado se multiplicó por 100.

$$Q = \left[\frac{C_i}{S_i} \right] \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec. 10}$$

Dónde:

C_i Concentración observada del elemento

S_i Estándar del elemento de acuerdo al Decreto 883 o OMS (2009)

Mientras, la calificación de calidad para pH o OD ($Q_{pH, OD}$) se calculó sobre la base de

$$Q_{pH, DO} = \left[\frac{C_i - V_i}{S_i - V_i} \right] \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec.11}$$

Donde:

Q_i = la calificación de calidad.

C_i = concentración de cada parámetro químico en cada muestra de agua en mg / L.

S_i = valor del parámetro de calidad del agua obtenido de la OMS recomendada o estándar venezolano para el agua potable enunciados en el Decreto 883 del parámetro correspondiente, en mg / L.

V_i = el valor ideal que se considera como 7.0 para pH y 14.6 para OD.

Las ecuaciones (10) y (11) aseguran que $Q_i = 0$, cuando un contaminante está totalmente ausente en la muestra de agua y $Q_i = 100$ cuando el valor de este parámetro es justo igual a su valor permisible. Por lo tanto, cuanto mayor es el valor de Q_i , más contaminada está el agua (Mohanty, 2004).

En el tercer paso se calculó el subíndice (SI_i) del i -ésimo parámetro con la Ecuación (12) para cada parámetro químico de la siguiente manera (Tiwari y Mishra 1985).

$$SI_i = RW \times Q_i \dots\dots\dots \text{Ec. 12}$$

Finalmente, el ICA se calculó sumando los valores de cada subíndice de cada muestra de agua de la siguiente manera:

$$ICA = \sum_{i=1}^n SI_i \dots\dots\dots \text{Ec.13}$$

Los valores de ICA calculados se clasificaron de acuerdo con Ramakrishnaiah *et al.* (2009) como excelente, bueno; pobre; muy pobre e Inadecuado o no apta para consumo humano (Cuadro 5).

Cuadro 5 Clasificación de las aguas de acuerdo con el ICA.

Valor del ICA	Clase	Calidad del Agua
< 50	I	Excelente
50-100	II	Buena
100-200	III	Pobre
200-300	IV	Muy Pobre
>300	V	No apta para consumo humano

Fuente: Ramakrishnaiah *et al.* 2009.

Un análisis estadístico se realizó a través de un ANOVA (Análisis de Varianza) al 5% de probabilidad, utilizando el programa estadístico SAS (9.0), y donde había diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó una prueba de Duncan al 5 % de significancia. El análisis se realizó para detectar las variaciones de los parámetros a través del tiempo y en cada estación. También se determinaron las medidas de tendencias central y medidas de dispersión en un gráfico tipo caja de ploteo o box plot. Todos estos cálculos se llevaron a cabo con el paquete estadístico descriptivo SPSS (Versión 8).

Básicamente el Análisis de Regresión Múltiple (ARM) se basa en un proceso lineal de ajuste de mínimos cuadrados y requiere un elemento traza o propiedad a ser determinada para cada fuente o categoría de fuente (Mohd *et al.*, 2011).

REGRESIÓN MÚLTIPLE LINEAL (RML)

Un análisis de regresión múltiple se llevó a cabo para investigar las relaciones de las variables más importantes obtenidas para la determinación de ICA. En la ecuación de RML las variables analizadas se consideraron variables independientes y el ICA como variable dependiente. Estos cálculos se hicieron con el paquete estadístico SAS y el procedimiento Stepwise con la opción backward. Por último se realizó un análisis de regresión lineal entre los valores calculados de ICA con la ecuación de regresión múltiple y los valores observados con la metodología aplicada para obtener la ecuación lineal de más ajuste a estos datos.

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS (AC)

El AC es un grupo de técnicas multivariadas cuyo objetivo principal es ensamblar objetos en función de las características que ellos poseen. AC clasifica los objetos, de modo que cada objeto es similar a los demás en el clúster con respecto a un criterio de selección predeterminado. El Agrupamiento aglomerativo jerárquico es el enfoque más común el cual forma clusters superiores paso a paso,

proporcionando relaciones de similitud intuitivas entre cualquier muestra y todo el conjunto de datos y es típicamente ilustrado por un dendrograma (diagrama de árbol).

El dendrograma proporciona un resumen visual del proceso de agrupamiento, presentando una imagen de los grupos y su proximidad, con una dramática reducción de dimensionalidad de los datos originales (Tabachnick y Fidell, 1996; Shrestha y Kazama, 2007). En este estudio, el análisis de clúster se realizó para detectar similitudes entre los diferentes sitios de medición que fueron analizados. Se realizó una preparación inicial de los datos, ya que se escogieron los valores promedios de cada uno de los datos de ICA observados para cada una de las estaciones de muestreo y se aplicó una estandarización por medio de los puntajes Z. A los datos estandarizados se le aplicó la técnica de análisis de clúster utilizando el método de Ward, la distancia euclidiana al cuadrado como medida de similitud y la representación de los grupos a partir de los dendrograma.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con los resultados obtenidos de la investigación de Vizcaíno (2011), se destaca las estadísticas descriptivas relacionadas con la calidad del agua en el Río Guarapiché representada en el Cuadro 6.

Cuadro 6 Estadísticos descriptivos básicos de los parámetros físicos, químicos y biológicos estudiados en el río Guarapiché. Periodo Febrero-Julio, 2011.

Parámetro	Unidad	Rango (N° estación)			LMP	OMS	Desviación Estándar
Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Decreto 883*	OMS	
Temperatura	°C	21.1(1)	29.6(7)	26.31			2.76
pH		7.5(7)	8.41(1)	8.02	6.0-8.5		0.27
Dureza	mg/l	270.29(6)	445.08(2,4)	344.14	500.0		47.34
CE	µS/cm	218(7)	380(2,5)	312.12		3000	36.59
Fe	mg/l	0(1)	2.55(7)	0.38	1.0	0.3	0.51
Mn	mg/l	0(1,2)	4.6(2,3)	0.32	0.1	0.5	1.07
Na	mg/l	0(1,2,3,4)	25.1(7)	5.58	200		8.60
K	mg/l	20(1,2)	65(4)	23.84(4)		50	7.89
NO ₂	mg/l	0(1,2)	14(2,4)	0.83	5	3	2.40
NO ₃	mg/l	0(1,2)	13.2(4)	0.87	5	50	2.48
SO ₄	mg/l	0(1)	40(4,5)	23.51	400	250	8.71
Cl	mg/l	0(1)	77(6,7)	5.27	600	250	12.33
OD	mg/l	2.45(7)	9.9(1)	4.01	>3		3.09
CF	NMP/100ml	0(1)	11000(6)	496.21	0-100		1720.58

LMP = límite máximo permitido por la norma venezolana. Decreto 883(1995)* y Organización Mundial de la Salud.

Los estadísticos descriptivos relacionados con los valores de calidad del agua de CF, Dureza, Cl y CE parecen ser de distribución estándar muy alta. Estas

variables cambian considerablemente en el río Guarapiché con respecto a su valor promedio, pero no influyen en la calidad de sus aguas porque no sobrepasan los valores límites de las normas venezolanas ni internacionales, a excepción de los coliformes fecales.

Los parámetros físicos estudiados se detectaron con valores bajos que no exceden los límites permisibles para contaminantes en descargas de aguas y bienes nacionales (Decreto 883, 1995).

De los cationes estudiados (Fe, Mn, Na y K), el Fe y Mn en algunas estaciones de muestreo presentaron valores por encima de los estándares actuales de la Norma venezolana. En el caso de los aniones (NO_2 , NO_3 , SO_4 , CL y OD), NO_2 y NO_3 presentaron valores por encima de la norma y el OD presentó valores por debajo de la misma.

Por último, para los CF la legislación venezolana emitida en el Decreto 883, el valor permisible de coliformes fecales para aguas de consumo humano debe ser 0 NMP/100ml de agua y para el caso de uso agropecuario debe estar por debajo de 100NMP/100ml de agua. En esta investigación, se observó un valor promedio general de coliformes fecales de $496,21 \pm 1720,57$, con un valor máximo de 11.000 y un valor mínimo de 0 NMP/100ml. Valor que sobrepasa en casi un 500% al máximo valor permisible por la normativa vigente.

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Los valores de ICA calculados para las 7 estaciones en la cuenca del río Guarapiché variaron de 44.38 a 363.79 como se muestra en la Figura 9.

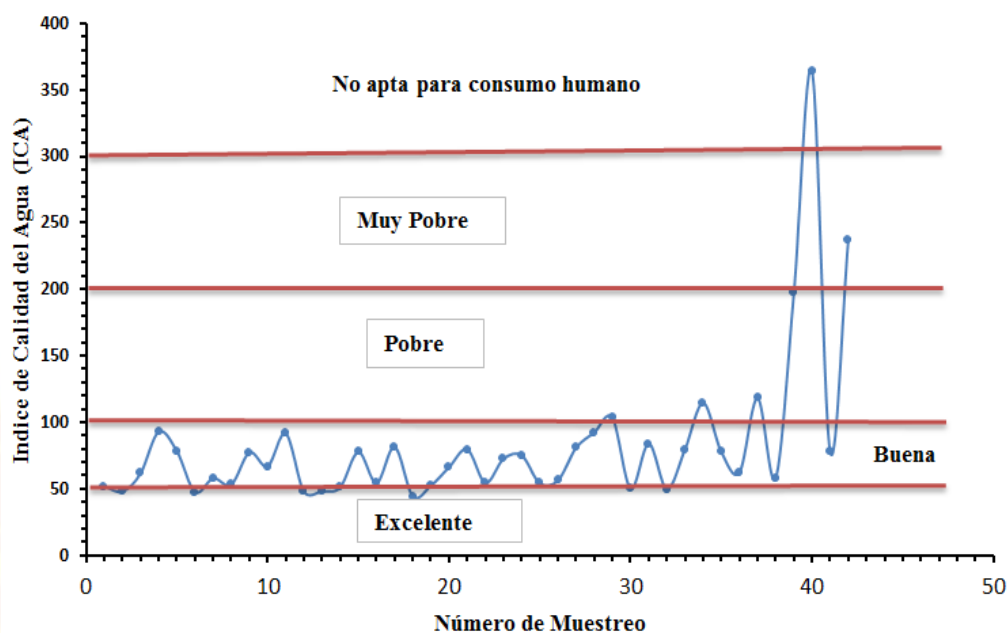


Figura 8. Variación de los valores del ICA en las muestras de agua estudiadas en el Río Guarapiché, durante el periodo Febrero-Julio.2011.

El valor promedio observado fue de 83.10 lo que califica en forma general a las aguas en un nivel II, como aguas de buena calidad.

Cuadro 6. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo al valor del Índice de calidad del agua.

Valor del ICA	Clase	Calidad del Agua	% de la Muestra Estudiada
< 50	I	Excelente	14.29
50-100	II	Buena	69.05
100-200	III	Pobre	11.9
200-300	IV	Muy Pobre	2.38
>300	V	No apta para consumo	2.38

El Cuadro 7 muestra el porcentaje de muestras de agua que caen bajo las diferentes categorías de calidad. Por lo tanto, el 14.29 % del agua del río se ubicó en la clase I: agua excelente; el 69.05 % en clase II - agua buena; el 11.90 % en

clase III pobre; el 2.38 % en clase IV muy pobre e igual porcentaje en clase V no apta para consumo humano.

Si se toma el valor de ICA de 100, como límite superior o umbral para agua potable, se puede decir que el 83.34 % (suma de las clases I y II), son aptas para consumo humano. El 4.76 por ciento de las muestras de agua del río presentaron valores de ICA dos veces por encima del umbral de potabilidad señalado.

El cuadro 1 de apéndices señala que la excelente calidad del agua pertenece a la zona de la cuenca alta donde nace el río. En cambio las aguas tipo IV y V se ubican en las estaciones 6 y 7, ubicadas en la cuenca baja, donde los altos valores de ICA observados son productos de las actividades antrópicas, entre las cuales destacan las actividades agrícolas, industriales, petroleras y poblaciones, con sus respectivos efectos secundario de explotación mineral y maderera, que resultan en el aumento de los valores de algunos parámetros químicos y microbiológicos.

Gil *et al* (2013), indica que los valores altos del ICA observados en las estaciones de Maturín y Palmonagas se debe principalmente a los altos valores de los parámetros Fe, Mn, nitritos, nitratos, y CF, con niveles superiores a los indicados en la normativa venezolana del decreto 883.

El análisis de varianza para la comparación de valores ICA según el mes y la estación, mostro diferencias significativas ($P < 0,05$) para los meses y las diferentes estaciones de muestreo. Tomando en consideración las estaciones y como valor critico el valor de 100, (por encima se considera un agua de calidad pobre); se observa que las primeras seis estaciones se encuentran por debajo de este valor crítico y solo en la Estación de Palmonagas estaba por encima de 100 (Figura 10).

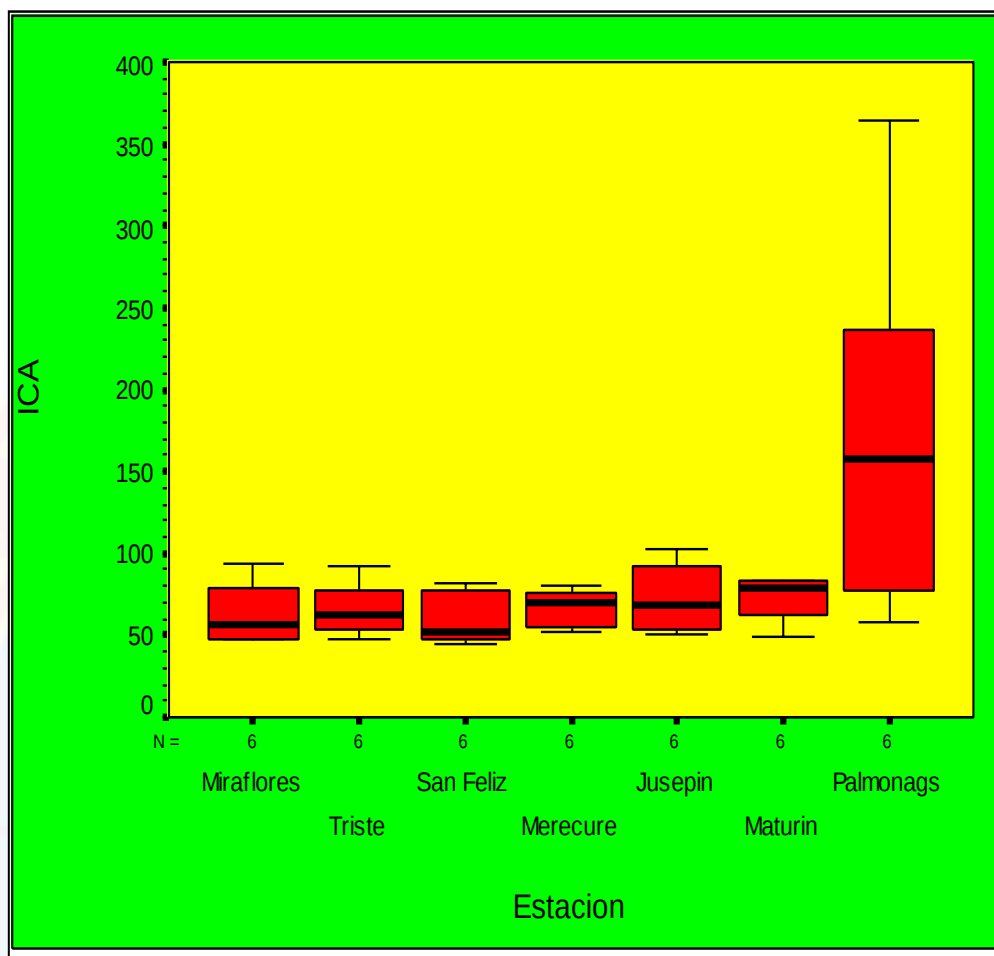


Figura 9. Cajas de ploteo para la variable ICA, observada en el río Guarapiché. Periodo Febrero – Julio 2011. Variación espacial.

En la Figura 11 se observa que el mes más crítico con valores por encima de 100 es el mes de mayo, el cual coincide con el comienzo del periodo lluvioso, que favorece la proliferación de microorganismos. Este aumento puede ser causado por el incremento del caudal y escorrentía producido por las lluvias Gil *et al* (2013). Otra causa es la ausencia de plantas de tratamiento de aguas servidas en los asentamientos adyacentes al río donde se observan el uso de pozos sépticos o hay un vertido directo de desechos al río Gil *et al* (2013).

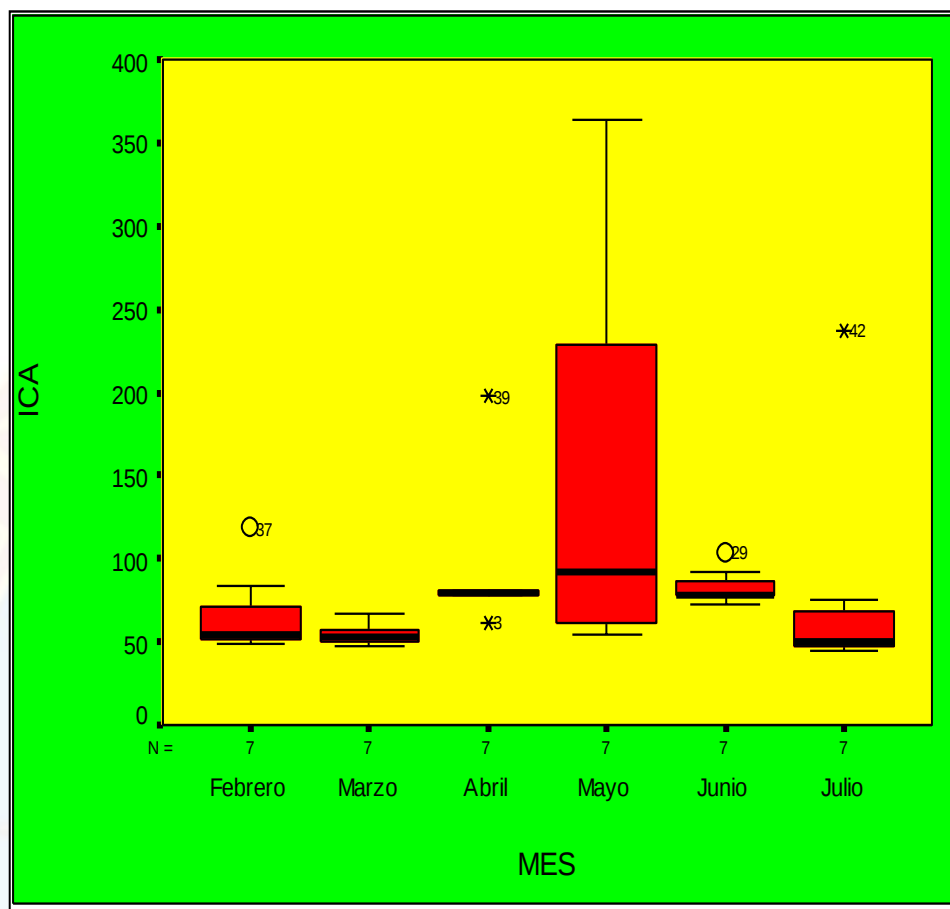


Figura 10. Cajas de ploteo para la variable ICA, observada en el río Guarapiché. Periodo Febrero – Julio 2011. Variación temporal.

Gil *et al* 2013 y Rondón (2008), señalan la calidad del agua del río Guarapiché está muy vinculada al crecimiento demográfico de los centros poblados localizados en el valle. Incurriendo esto al aumento de todas las actividades que afectan de una manera u otra la calidad del agua sobre la actividad agrícola y mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Durante la última década, el río Guarapiché ha sido sometido a un rápido declive en el estado de la calidad del agua que es posiblemente debido al aumento en la población y actividades humanas, tal como lo reporta Gil *et al* (2013). Este efecto fue bastante evidente con estos resultados y puede implicar que las medidas preventivas adoptadas por las autoridades locales aún no son suficientes; está claro que la descarga doméstica y actividades agrícolas además de los efectos de la sequía

de los últimos dos años son las principales amenazas para la calidad del agua del río Guarapiché. El estudio concluye que el ICA es una de las mejores herramientas para calcular el potencial de contaminación de manera comprensiva y también se puede utilizar para clasificar la calidad del agua de una forma fácil de entender para todo criterio científico de calidad del agua.

Un estudio regular del ICA puede servir de guía a las autoridades locales en la toma de decisiones adecuadas para implementar las medidas correctivas. Finalmente, se concluye que el río Guarapiché en su cuenca baja está al borde de la degradación y que deben ser tomadas medidas preventivas por autoridades competentes.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE (ARM)

El procedimiento Stepwise de SAS con la opción de Backward, que comenzó con las 14 variables tomadas en consideración para el análisis de componentes principales, finalmente nos reduce el número de variables a 6 (Cuadro 8) sin perder la precisión en el análisis de datos, con un R^2 igual a 0.9914 (Cuadro 9).

Cuadro 7 . Análisis de regresión Múltiple con las variables dependientes ICA.
Variable dependiente: ICA

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
CONSTANTE	-1191,37	287,4620	-4,14446	0,0002
CF	0,125982	0,0021162	59,5323	0,0000
CE	0,399656	0,0993281	4,02359	0,0003
Cl	0,529844	0,294182	1,80107	0,0803
Temperatura	5,17665	2,186290	2,36778	0,0236
pH	120,428	29,69550	4,05542	0,0003
Na	2,53128	0,680873	3,71770	0,0007

Cuadro 8 Análisis de varianza (Anova) para describir la relación entre ICA y las 6 variables independientes.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1914960,00	6	319160	679,37	0,000
Residuo	16442,5	35	469,786		
Total (Corr.)	1.931.400,00	41			

R-cuadrado = 99.1487 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99.0027 porcentaje

Error estándar de est. = 21.6745

Error absoluto medio = 14.1486

Estadístico de Durbin-Watson = 2.09401 (P=0.2426)

Autocorrelación residual en Lag 1 = -0.0502132

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre ICA y 6 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{ICA} = -1191.37 + 0.125982 \cdot \text{CF} + 0.399656 \cdot \text{CE} + 0.529844 \cdot \text{CI} + 5.17665 \cdot \text{Temp} + 120.428 \cdot \text{pH} + 2.53128 \cdot \text{Na} \dots \text{Ec.14}$$

El modelo lineal está dominado por las variables pH, Temperatura y Na (Cuadro 8). Dado que el p-valor en el Cuadro 9 ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente altamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99 %. El criterio más comúnmente usado para evaluar el desempeño del modelo es el coeficiente de determinación (R^2) (Pearson, 1986); sin embargo R^2 no es buena medida de comparación de diferentes modelos, ya que los valores de R^2 solo proporcionan lo bueno que se ajusta el modelo a los datos utilizado para construir los modelos y no lo bien que funciona en datos externos (Aertsen *et al.*, 2010).

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 99.15 % de la variabilidad en ICA. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más conveniente para comparar modelos con diferente números de variables independientes, es 99.0027%. El error estándar de la estimación, muestra la desviación típica de los residuos que es 21.6745. Este valor puede usarse para construir los límites de

predicción para nuevas observaciones. El error absoluto medio (EAM) de 14.1486 es el valor medio de los residuos.

El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero. Dado que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicio de autocorrelación serial en los residuos.

Para decidir la simplificación del modelo, se tuvo en cuenta que el p-valor más alto en las variables independientes es 0.0803, perteneciendo a Cl. Puesto que el p-valor es inferior a 0.01, ese término es estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 99 %. Dependiendo del nivel de confianza con el que quiera trabajar, se puede decidir quitar o no Cl del modelo.

ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL.

Con los ICA calculados con el modelo anterior y los ICA observados se aplicó un análisis de regresión lineal que arrojó los siguientes resultados observados en los Cuadros 10 y 11.

Cuadro 9 Análisis de regresión lineal para el modelo anterior y los ICA observados.

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	
		estándar	T	P-Valor
Ordenada	1.90131	3.96024	0.480101	0.6338
Pendiente	0.982	0.039402	24.9226	0.0000

Cuadro 10 Análisis de varianza (Anova) relación entre los ICA Calculados y ICA Observados.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	131383	1	131383	621.13	0.000
Residuo	8249.33	39	211.521		
Total (Corr.)	139632	40			

Coefficiente de Correlación = 0.970011

R-cuadrado = 94.0921 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93.9406 porcentaje

Error estándar de est. = 14.5438

Error absoluto medio = 11.3663

Estadístico de Durbin-Watson = 2.1475 (P=0.2952)

Autocorrelación residual en Lag 1 = -0.0801854

La salida muestra los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre los ICA Calculados y ICA Observados. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{ICA_Cal} = 1.90131 + 0.982 \cdot \text{ICA_Obs} \dots \text{EC.15}$$

Dado que el p-valor en el cuadro 9 ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente altamente significativa entre ICA_Cal y ICA_Obs para un nivel de confianza del 99 %. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 94.09 % de la variabilidad en ICA Cal. El coeficiente de correlación es igual a 0.970011, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 14.5438. Este valor puede usarse para construir límites de la predicción para las nuevas observaciones. El error absoluto medio (EAM) de 11.3663 es el valor medio de los residuos.

El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero. Dado que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicio de autocorrelación serial en los residuos.

La Figura 12 muestra el trazado para los ICA calculados y ICA observados. Se observa que ninguna de las observaciones generales está fuera del rango del límite superior e inferior del intervalo de confianza del 95 %. Esto demostró que este modelo es capaz de predecir los valores ICA a partir del modelo anterior con una precisión destacable. Esto se debe a la poca diferencia entre el ICA calculado y el ICA observado para todas las observaciones del conjunto de entrenamiento y pruebas.

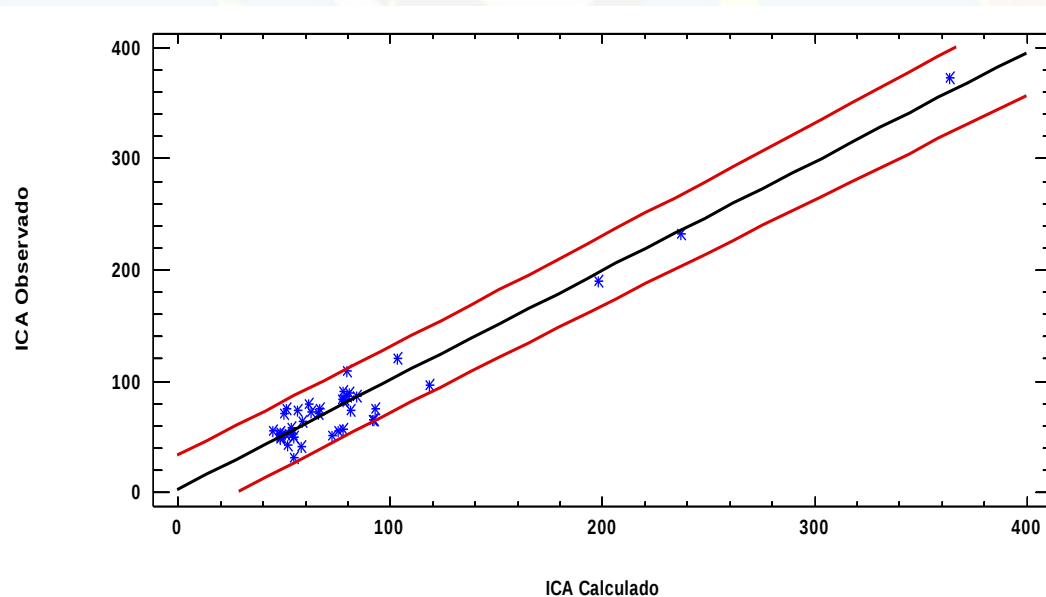


Figura 11. ICA observado versus ICA calculado en la cuenca del Rio Guarapiche.

En la Figura 13, de residuos atípicos se observa todas las observaciones que tienen residuos estudentizados superiores a 2.0 en valor absoluto. Los residuos estudentizados miden cuánta desviación típica de cada valor observado de ICA_Cal se desvía del modelo de ajuste, utilizando todos los datos excepto esa observación.

En este caso hay un residuo estudentizado superior a 2.0, pero ninguno superior a 3.0.

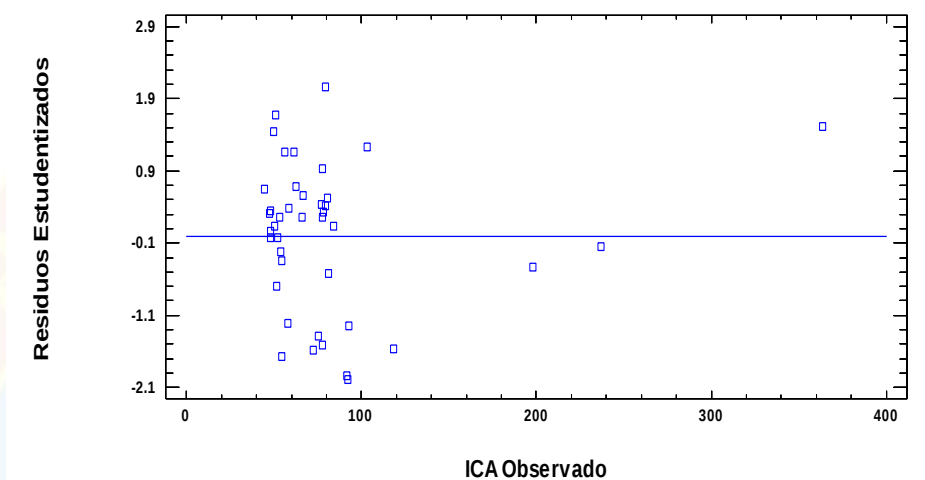


Figura 12. Residuos estudentizados versus ICA observados.

Se considera que ARM puede proporcionar índices más eficientes y de buen rendimiento debido a la eliminación de problemas de colinealidad y la reducción del número de variables predictoras. El uso del ARM es un avance en la predicción de ICA. Así, se demostró que el modelo ARM es una herramienta útil y eficiente para las Agencias públicas que realizan monitoreos ambientales en Venezuela. Por lo tanto, el modelo avanzado también ayudará a reducir los muestreos y costo de reactivos utilizados en los análisis.

Análisis de Clúster o Conglomerados

El resultado de este análisis se puede ver en la figura 14. En el dendograma general generado por el análisis de clúster se puede observar que los valores de ICA para las estaciones Miraflores y San Feliz se encuentran en un primer grupo de similaridad. El eje superior indica la distancia que hay entre cada uno de los clúster cuando estos se encuentran unidos. Por esto se puede decir que los sitios de muestreos mencionados anteriormente se encuentran estadísticamente cercanos a la estación de Triste. La similaridad entre estos sitios de muestreo se da por el grado

de contaminación que presentan, es decir que el criterio que se utilizó para agrupar los sitios de muestreo fueron los valores promedios de calidad de las aguas.

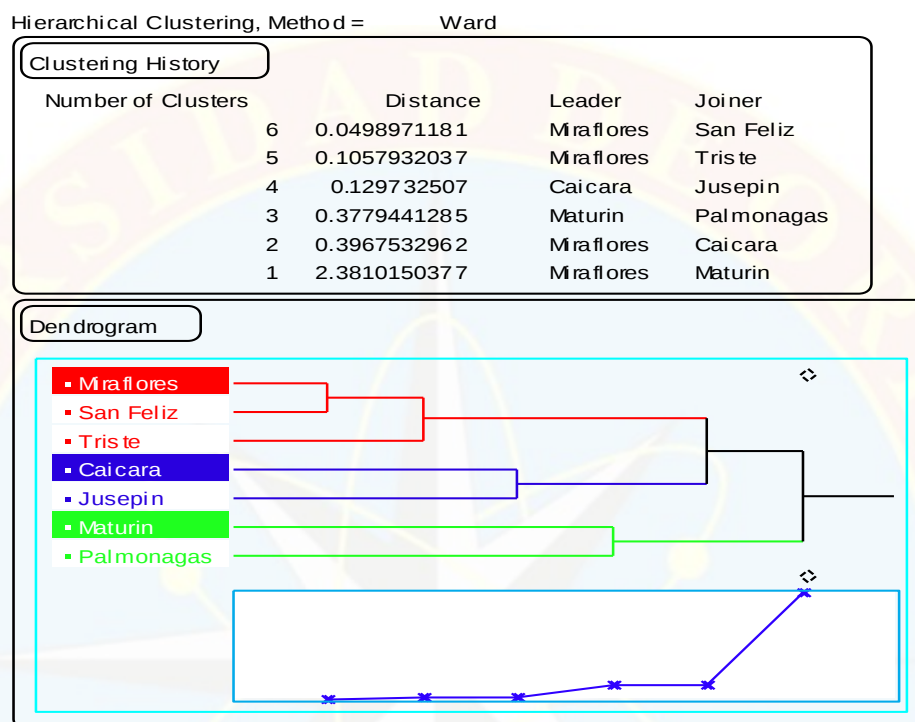


Figura 13. Dendrograma General.

Otra conclusión que se puede derivar a partir de esta figura es que la técnica agrupa a los sitios de muestreo de menor a mayor nivel de contaminación. Por lo tanto podemos decir que este primer grupo de clúster es de baja contaminación. El sitio de medición de Maturín y Palmonagas es por consiguiente el más contaminado de todos y por eso el dendrograma lo muestra como un grupo aislado, mientras que los sitios de Miraflores y San Feliz son los menos contaminados. Los sitios de muestreos de Caicara y Jusepín también se encuentran agrupados y muestran que su grado de contaminación es similar entre sí. Este grupo lo podemos clasificar como grupo de contaminación intermedia. La importancia de este análisis radica en que los sitios de muestreo de 7, lo podemos llevar a 3, sin bajar la efectividad o calidad de información de los datos, lo que traerá una disminución significativa en el empleo de reactivos para las determinaciones de los diferentes parámetros y tiempo para realizar los muestreos.

CONCLUSIONES

- Las aguas del Rio Guarapiché se clasifican en general como aguas de buena calidad, pero en su cuenca baja (estaciones Maturín y Palmonagas), su calidad es muy pobre y no apta para consumo humano.
- Los valores de ICA calculados en el río Guarapiche variaron de 44.38 a 363.79.
- El mes más crítico con valores por encima de 100 es el mes de mayo, que coincide con el comienzo del período lluvioso, que favorece la proliferación de microorganismos.
- Los valores altos del ICA observados proviene principalmente de altos valores de las variables Fe, Mn, nitritos, nitratos, y CF, con niveles superiores a los indicados en la normativa venezolana del Decreto 883 (1995).
- Los resultados del Análisis de regresión múltiple (ARM) revelan que el pH, Temperatura, sodio, conductividad eléctrica, coliformes fecales y cloro son las variables más importantes utilizadas para evaluar los cambios en la calidad del agua del río.
- El análisis de regresión lineal arrojo un coeficiente de determinación R^2 de 0.94, bastante alto, que indica que el modelo explica un 94.09 % de la variabilidad en los ICA calculados.
- El análisis de Clúster nos indica que los sitios de muestreo de 7, lo podemos llevar a 3, sin bajar la efectividad o calidad de información de los datos, lo que traerá una disminución significativa en el empleo de reactivos para las determinaciones de los diferentes parámetros y tiempo para realizar los muestreos.

RECOMENDACIONES

- Dar continuidad a los muestreos para obtener datos fisicoquímicos y biológicos por parte de instituciones competentes con el medio ambiente así ampliar la información con la que cuenta el país en materia de calidad de agua en la cuenca del río Guarapiché.
- Implementar una campaña de concientización ambiental de las colectividades que habitan en lugares próximos al cuerpo de agua, para que eviten su contaminación. Dado que esta situación es típica de muchas ciudades de Venezuela, esta acción debería extenderse a todo el país.
- Se recomienda que al menos se realicen análisis dos veces al año, para evaluar su comportamiento y el grado de contaminación del agua.
- Replicar la presente investigación en otras cuencas del estado Monagas y el país, utilizando la misma metodología propuesta para la cuenca del río Guarapiché.
- Se recomienda aplicar esta metodología ICA propuesta por la NSF para calcular el ICA por ser la más utilizada en proyectos de investigación, en caracterización de cuerpos hídricos y en evaluación del impacto ambiental, el grado de confiabilidad de esta metodología es del 98%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aertsen, W; Kinta, V; Orshovena, J; Özkan, K; y Muysa, B. 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests *EcologicalModelling*, 221: 1119-1130.
- AGUIRRE SANCHEZ, D. J., Ramírez, N. J. A., & Quintero, O. C. (2008). Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la quebrada La Ayurá en Envigado (Antioquia). *Producción más limpia*, 3(1).
- APHA (American Public Association, US); AWWA (American Water Works Association, US); WPCF (Water Pollution Control Federation, US). 1995. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, Díaz de Santos, S.A., 2-1 a 2-105. 3-186, 4-1 a 4-235. 9-1 a 9-179.
- ARAGÜÉS LAFARGA, R. (2011). Calidad del agua para el riego: efectos sobre plantas y suelos.
- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2007. *Manual de calidad*. Laboratorio Nacional de Aguas. Versión 3. San José, Costa Rica, 36 pp.
- BEHAR, R., Zúñiga de Cardozo, M. D. C., & Rojas Ch, O. (2011). Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: casos ríos Cali y Meléndez.
- BENAVIDES, A., MORENO, M., SOSA, M., PUGA, S., ALCALÁ, J., & QUINTANA, C. (2008). Evaluación de la Calidad del Agua en las Principales Lagunas del Estado de Chihuahua. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), 84-88.
- BENEZ, M. C., KAUFFER Michel, E. F., & Álvarez Gordillo, G. D. C. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera norte*, 22(43), 129-158.
- BETANCOURT, C., SUÁREZ, R., & Jorge, F. (2012). Influencia de los procesos naturales y antrópicos sobre la calidad del agua en cuatro embalses cubanos. *Limnetica*, 31(2), 193-204.

- BRENES, G. C., & MOLINA, J. M. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25(5), pág-37.
- Bordalo, A. A., W. Nilsumranchit, and K. Chalermwat. 2001. Water quality and uses in the Bangpakong river (Eastern Thailand). *Water Res.* 35: 3635-3642.
- Bozo, L; Fernández, M; Reyes, R y Suarez, P. (2007). Biomarcadores de contaminación química en comuniddes microbianas. (Resumen en línea). *Interciencia*. 32(1) pp 8-13. Disponible: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php> (Consulta: 2008. mayo 07).
- Canter, L.W. 1996. Environmental Impact Assessment, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, ISBN 0-07-009767-4, p.122–133.
- Castañé P. M., Loez C. R., Olguín F., Puig A., Rovedatti M. G., Topalián M. L. y Salibián A. (1998). Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 14, 69-77.
- Chávez-Alcántar, A.1.; Velázquez-Machuca, M.; PimentelEquihua, J. L.; Venegas-González, J.; Montañez-Soto, J. L. y Vázquez-Gálvez, G. 2011. Hidroquímica de las aguas superficiales de la Ciénega de Chapala e índice de calidad de agua. *Terra Latinoamericana* 29 (1):13.
- CIRA-UAEM (Centro Interamericano de Recursos del Agua-Universidad Autónoma del Estado de Mexico, MX). 2005. Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamerica. Eds. C.D. Delgado; M.V. Esteller; F. Lopez-Vera. Montevideo / Toluca, Piriguazu Ediciones 747 p.
- COVENIN 2.634. (2000). Norma venezolana. Aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones. Caracas: FONDONORMA.
- Custodio, E.; Díaz, E. 2001. Sección 18: calidad del agua subterránea. En: *Hidrología Subterránea*. Eds. E. Custodio; M.R. Llamas. 2 ed. Tomo II. Barcelona, España, Omega. P. 18.28-18.31.

- Chapman, D. 1996. Water Quality Assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2 ed. London, UNESCO/UNEP. 626 P.
- DEL SAZ Salazar, S., Sancho, F. H., & Garrido, R. S. (2011). Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales (Agricultural and Resource Economics)*, 9(1), 37-63.
- Decreto No 883 (Normas para la Clasificación y el Control de la calidad de los Cuerpos de Aguas y Vertidos o Efluentes Líquidos). (1995, Octubre 11). *Gaceta oficial de la Republica de Venezuela*, 5.021, Diciembre 18, 1995.
- Eaton, A.D.; Clesceri, L.S., Rice, E.W.; Greenberg, A.E. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Estados Unidos, Centennial Edition. 167 pp.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 2004. Drinking Water Health Advisory for Manganese. Health and Ecological Criteria Division. Office of Water. Washington. 49 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 2007. Manganese: Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health. TEACH Chemical Summary. 14 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 2013. Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals (En línea). Consultado el 10 de abril de 2014. Disponible en: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm>
- FAO. 2003. Situación de los bosques del mundo 2003. Roma, Italia.
- Fawell, J.; Nieuwenhuijsen, M.J. 2003. Contaminants in Drinking Water. *British Medical Bulletin* 68:199-208.
- FERNÁNDEZ, N., RAMÍREZ, C. A., & SOLANO, F. (2003). Índices fisicoquímicos de calidad del agua: un estudio comparativo. In *Agua 2003: Usos Múltiples del Agua, para la Vida y el Desarrollo Sostenible* (pp. 1-9). IWA.

- FLORES-JACINTO, P., MELÉNDEZ-ESTRADA, J., & AMEZCUA-ALLIERI, M. A. (2013). Propuesta de Índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38(2), 145-149.
- GALLEGO, J. C. C., RUIZ, J. D. E., & GUTIÉRREZ, A. E. G. (2010). Modelación índice de calidad de agua (ICA). *Gestión y Ambiente*, 13(2), 7-24.
- GARCÍA, Q. (2012). Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- GARCÍA B., N. (2005) Ingeniería de la Salud Ambiental en aguas subterráneas. [Documento en línea]. Universidad de Sevilla. Ingeniería agua http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/modulo3/ponencias_modulo_03_master_04-06/sanidad_ambiental_aguas_subterraneas.pdf Consultado: 2011, febrero 20
- Gil, M. J. A.; Belloso de Herrera, G.; Vizcaino, G. C.; Maza, I.J.; Sánchez, C.M.C.; Bolívar, C.E. y Martínez, P.D. 2013. Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO 154 Agrícola* 13(1): 154-163.
- GONZÁLEZ, M. I. (2012). Enfoque actual sobre la calidad microbiológica del agua de hemodiálisis. *Revista Cubana de Salud Pública*, 38(3), p. 451-462.
- González, M. J., Ortiz, L. (2002). El Calcio (Ca) CFGS Química Ambiental. [Documento en línea] IES Mercé Rododera Curso 2002/03 Modulo B http://www.xtec.cat/~gjimene2/licencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d40324887-2_precenciaguas.html [Consultado: 2011, Enero 10]
- GORV. 1995 .Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 .Decreto N° 883“Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”. Venezuela. Disponible en:<http://www.adan.org.ve/documentos/decreto-883.pdf>
- Goyenola G (2007). Guía para la utilización de las valijas viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Gutiérrez, H., De la Vara, R., (2012) Análisis y diseño de experimentos, 3ra edición, McGraw –Hill, México.

Hem, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristic of Natural Water (en línea). 3 ed. USA, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254. 225 p. Consultado 16 may.2007. Disponible en <http://pubs.usgs.gov/wsp2254/html/pdf.html>.

Henry, J.G.; Heinke, G.W. 1995. Ingeniería Ambiental. México Prentice Hall. 283-284.

Hounslow, A. W. 1995. Water Quality Data. New York, USA, CRC Lewis Publishers 49-59.

Illarramendi, M. (2000). Evaluación de la incidencia sobre la calidad de las aguas de la cuenca del río Yaracuy de las “Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas de la cuenca del Río Yaracuy”. Informe de pasantía no publicado. Universidad Simón Bolívar. Sartanejas.

Jouravlev, A. 2004. Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (en línea). Series CEPAL no. 74: 71 p. Santiago, Chile, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL. Consultado 20 nov. 2006. Disponible en http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/drni/agrupadores_xml&xsl=/agrupadores_xml/agrupa_listado.xsl.

Kung, H.; Ying, L. and Liu, Y. 1992. A Complementary Tool to Water Quality Indices: Fuzzy Clustering Analysis. Water Resour. Bull. 28(3):525-533.

LACOSTE, C. & D. Collasius. (1996). Instrumentos de diagnóstico ambiental: índice de calidad de agua. GerenciaAmbiental 24: 286-290.

Ljung, K; Vahter, M; Berglund, M. Manganese in drinking water. 2007. The institute of environmental medicine. KarolinskaInstitutet. Stockholm, SE. 61 p.

Medina, M. (1984). Caracterización Físico química de las aguas de 13 Ríos del Estado Monagas y TFDA. Ministerio del Ambiente y de los Recursos

Naturales Renovables. División de Información e Investigación del Ambiente. Serie Informe Científico Zona 12/IT/Maturín estado Monagas.

Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalos. Cuenca del río San Juan. Turrialba, CR, CATLE. 81 p.

Metcalf y Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización (3ª ed). España: Mc Graw Hill.

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovable. (1980). Uso Actual y perspectivas de Aprovechamiento de las Aguas del Río Guarapiche. Maturín: Serie Informes Técnicos. Zona 12/IT/Maturín estado Monagas.

Ministerio del Ambiente. 2006. Recursos Hídricos de Venezuela. Caracas: Fundambiente.

Mohd FahmiMohd Nasir, MohdSaifulSamsudin, IsahakMohamad, Mohammad Roshide Amir Awaluddin, MuhdAriffinMansor, HafizanJuahir, NorlafifahRamli.2011.River Water Quality Modeling Using Combined Principle Component Analysis (PCA) and Multiple Linear Regressions (MLR): A Case Study at Klang River, Malaysia.World Applied Sciences Journal 14 (Exploring Pathways to Sustainable Living in Malaysia: Solving the Current Environmental Issues): 73-82.

Mohanty, S.K. 2004. Water Quality Index of Four Religious Ponds and its Seasonal Variation in the Temple City,Bhuvaneshwar,” In: A. Kumar, Ed., *Water pollution*, APH Publishing Corporation, New Delhi. pp. 211-218.

Montgomery, D., (2008) Diseño y análisis de experimentos, 2da edición, Limusa-Wiley, México.

NMX-AA-089/1-1986. Protección al ambiente - Calidad del agua - Vocabulario - Parte 1. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.

N. Samboni, Y. Carvajal, and J. Escobar,(2007) “Parámetros Físicoquímicos como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua, Estado del Arte,” *Ingeniería eInvestigación*, vol. 27, pp. 172 – 181.

- NSF (National Sanitation Foundation, US). 2007. Water Quality Index (en línea). Michigan, U.S. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en: http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, CH). 2006. Guías para la calidad del agua potable: Hojas de información sobre sustancias químicas. 3ed. p. 315-316
- OMS (Organización Mundial de la Salud, CH). 2011. Manganese in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 21 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2006. Agua. Saneamiento y salud: enfermedades relacionadas con el agua (en línea). Consultado 20 oct. 2006. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasesfact/es/index.html.
- OMS (Organización Mundial de la salud, US). 1999. Guías para la calidad del agua potable. Addendum al volumen 1 Recomendaciones. 2 ed. Ginebra: OMS. 40 p.
- OMS (Organización Mundial de la salud, US). 1995. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 ed. Ginebra: OMS. V. 1, 195p.
- OMS (Organización Mundial de la salud, US). 1998. Guías para la calidad del agua potable. Vigilancia y Control de los abastecimientos de agua a la comunidad. 2 ed. Ginebra: OMS. V. 3, 255p.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) 2003. Total dissolved solids in drinking-water. Documento en línea. Guías de la OMS para la calidad del agua potable Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/16).
- Ongley, E. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudios de la FAO riego y drenaje. Roma, Italia FAO, 116 p.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud); Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2005. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero, Lima. 59p.

- OPS (Organizacion panamericana de la salud, US). 1993. Calidad del Agua Potable en Costa Rica: Situacion actual y perspectiva. San Jose C.R., 40p.
- Orozco, B, C.; Pérez, S.A.; González, D.M.N.; Rodríguez, V.F.; Alfayate, B.J.M. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Madrid. España. Thomson. 97-100.
- OTT, W. (1978). Water Quality Indices: A Survey of Indices used in the United State. USA: US environmental protection agency. Ciclo de nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Mexico. Ingeniería Revista Academica 6(3): 73-81.
- Pearson, K. 1886. Regression, heredity, panmixia. In Mathematical contributions to the theory of evolution. Philos. Trans. R. Soc. Lond, 187: 253-318.
- Perdomo, C.H.; Casanova, O.N.; Ciganda, V.S. 2001. Contaminacion de Aguas Subterraneas con Nitratos y Coliformes en el Litoral Sudoeste del Uruguay. Agrociencia 5(1): 10-22.
- PÉREZ-CASTILLO, A. G., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Revista de Biología Tropical, 56(4), 1905-1918.
- Ramakrishnaiah C. R., C. Sadashivaiah and G. Ranganna, .2009. "Assessment of Water Quality Index for the Ground Water in Tumkur Taluk," *E-Journal of Chemistry*, Vol. 6, No.2. . pp. 523-530.
- Ramos M., P., F., L., Cjuno, A., y Carrasco A., N. (2007). *Guía de Muestreo de Aguas Superficiales y Sedimento de Lecho de río*. [Documento en línea]. Universidad Nacional Agraria La Molina, XVIII Programa de Especialización en Gestión de la Calidad y Auditoría Ambiental. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos40/calidad-agua-miranda/calidad-agua-miranda.shtml> [Consultado: 2011, Enero 05]
- Rivas Mijares. G. (1978). Tratamiento de Aguas Residuales. (2ª ed). Madrid: Vega.
- Rojas, R. 2002. Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, Centro de Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). 353 p.

- Rondón, C. 2008. Análisis ambiental del Río Guarapiche como fuente de abastecimiento de agua de Maturín. Estado Monagas. Venezuela. (Trabajo especial de grado). Universidad de Margarita, Nueva Esparta.
- Saenz, F. 1995. Identificación de áreas críticas para el manejo de la cuenca del río Pacuare, Costa Rica. Tesis Mag. Se Turrialba, CR, CATLE. 145.
- SAMBONI, N., Carvajal, Y., Escobar, J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de Ingeniería e Investigación*, volumen 27, pp. 172-181. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sacha, and Espinoza, (2001) “Determinación de Contenido Naturales Índices de Calidad: ¿Presente y Futuro de Calidad de Aguas?,” in XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile
- SCHREIDER, M. (2011). La gestión integrada de los recursos hídricos: el aporte de la Universidad a su proceso de construcción. En J. C. Bertoni, Tecnología, investigación y gestión (págs. 67 -71). Córdoba, Argentina: Centro de estudios y tecnología del agua. Universidad Nacional de Córdoba.
- Shrestha, S; y Kazama, F. 2007. Assessment of surfacewater quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin; Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22, 464–475.
- Singh DF (1992) Studies on the water quality index of some major rivers of Pune, Maharashtra. *Proceedings of the Academy of Environmental Biology* 1(1):61–66.
- Sole, A. C. (2005). *Instrumentación Industrial* (Vol. 7ma Edición). España: MARCOMBO S.A
- Srinivasamoorthy, K.; Chidambaram, M.; Prasanna, MV.; Vasanthavigar, M, John, P. and Anandhann P. 2008. Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock Terrain—a case study from Mettur Taluk, Salem District, Tamilnadu India. *J Earth Syst Sci.* 117(1):49-58.

Stambuk-Giljanovic, N. 2003. Comparison of dalmatian water evaluation indices. *Water Environ. Resear.* 75: 388-405. Stumm, W. and J. Morgan. 1996. *Aquatic chemistry*. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.

Tabachnick, B. G; y Fidell, L. S. 1996. *Using multivariate statistics* (3rd ed.). New York: Harper Collins College Publishers.

Tiwari, T.N. & Mishra, M.A. 1985. A preliminary assignment of water quality index of major Indian rivers. *Indian J Environ Protect* 5:276-279.

TORRES, P., CRUZ, C. H., & PATIÑO, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano., Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.

U.S.G.S. (United States Geological Survey). 2006. National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey techniques of Water-Resources Investigations (en línea). Ed. F.D. Wilde. Version 2.1, libro 9, Capítulo A6. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>.

Vizcaino, G, Celeidys. 2012 Estudio Físico Químico y Biológico de las Agua del Río Guarapiche para fines Agrícola y Consumo Humano. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Margarita.

WHO (World Health Organization, US). 2001. WHO Highlights Global Impact of Unsafe Water. *Reuters Health Information* (en línea). Consultado 5 jun. 2007. Disponible en <http://id.medscape.com/reuters/prof/2001/03/03.23/20010322publ002.html>

WORLD Health Organization Pan American Health Organization. (1988). *Guías para la calidad del agua potable* (Vol. 508). Pan American Health Org.

W. R. Ott, (1978) "Water Quality Indices: A Survey of Indices Used in The United States," US Environmental Protection Agency, Jan.

Wuison J. (2005). [Documento en línea]

http://gemini.udistrial.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/calaguas_cap10.pdf
http://gemini.udistrial.edu.co/comunidad/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/algvas_cap11.pdf [Consultado: 2011, Febrero 20]

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, FR). 2003. Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo. Agua para Todos, Agua para la Vida (en línea). Consultado 12 oct. 2006. Disponible en http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml.

Yidana, SM.; Banoeng-Yakubo, B. and Akabzaa, TM. 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin Ghana. *J Afr Earth Sci* 58(2):220-234.



APÉNDICES

Tabla 1. Matriz final.

Matriz																																		
Estacion	Epooca	Fe	Ca	Mg	Mn	Na	K	NO2	NO3	NO2+NO3	SO4	Cl	HCO3	CO3	SO	Alc	CO	Meso	CT	CF	LogMeso	LogCT	LogCF	pH	Temp	CE	TDS	Dorsing	ICA	ICA_Cal				
1	1	0	125	5	0,15	0	29	0	0	0	15	15	61	193,2	195	122,5	1,8	25	0	0	1,4	0	0	8,41	21,1	278	145	332,72	51,81	42,66				
1	2	0	130	5	0,15	0	20	0	0	0	12,5	1	12,1	195,3	166	82,5	1,12	62	0	0	1,79	0	0	8,34	21,8	319	166	145,2	48,00	53,99				
1	3	0	110	5	0	0	30	1	0	1	15	0	18,2	161,1	172	90	1,5	163	230	91	2,21	2,36	1,96	8,41	21,8	333	172	295,26	63,57	78,95				
1	4	0,05	120	5	0,2	0	20	14	0	14	15	5	24,2	153,6	164	90	2,5	33	210	91	1,52	2,32	1,96	8,39	22,6	313	164	330,13	59,00	75,33				
1	5	0,12	150	15	35	0	20	0	0,4	0,4	15	3	12,1	234	152	75	9,9	26	230	230	1,41	2,36	2,36	8,41	22	294	152	436,32	78,33	89,49				
1	6	0,07	130	5	0	0	20	0	0	0	10	0	24,2	194,5	145	55	8,6	12	90	90	1,08	1,95	1,95	8,41	21,1	278	145	145,2	47,64	53,20				
2	1	0,945	135	7,5	0	0	25	0	0,5	0,5	22,5	0	12,1	192,9	195	115	1,6	88	36	0	1,94	1,56	0	8,23	22,1	318	165	167,98	57,83	41,36				
2	2	0,095	135	5	0	0	20	1	0	1	17,5	0	12,1	198,9	195	100	2,2	5	36	36	0,7	1,56	1,56	8,16	23,1	356	195	197,69	59,11	57,84				
2	3	0,06	150	5	0	0	20	0	0	0	20	0	18,2	198	190	75	1,8	41	230	230	1,61	2,36	2,36	8,1	24,1	366	190	195,14	77,36	84,24				
2	4	0,48	130	10	0	0	20	0	0	0	25	11	0	207,9	195	50	0,45	23	91	91	1,36	1,96	1,96	8,16	23,9	358	195	165,79	66,87	75,55				
2	5	0,08	120	5	45	0	20	0	0	0	36	0	18,2	152,1	158	70	8,3	54	280	280	1,73	2,45	2,45	8,14	23	304	158	330,13	91,59	64,86				
2	6	0,05	120	10	0	0	25	2	0	2	15	4	24,2	179,7	165	115	8	1190	40	40	3,13	1,6	1,6	8,23	22,1	318	165	140,02	47,67	48,52				
3	1	0,13	140	5	0	0	20	0,5	0	0,5	20	0	12,1	192	157	132,5	3,03	43	0	0	1,63	0	0	8,33	26	259	154	170,17	48,11	48,99				
3	2	0,125	110	10	0,1	0	20	0	0,3	0,3	20	0	6,1	168,6	158	62,5	2,5	31,5	230	0	0	2,36	0	0	8,36	26,3	310	158	115,85	51,13	75,56			
3	3	0,28	110	5	0	0	25	0	0	0	15	3	24,2	149,7	165	80	2	49	230	230	1,69	2,36	2,36	8,16	25,4	315	165	295,26	77,92	91,43				
3	4	0,13	120	5	0	0	25	2	2,9	4,9	20	3	0	194,7	149	65	0,85	880	0	0	2,94	0	0	8,22	26,1	288	149	330,13	54,39	50,45				
3	5	0,16	100	15	42	0	20	0	2,6	2,6	20	2	12,1	193,2	156	110	8,6	500	230	230	2,7	2,36	2,36	8,26	26,3	362	156	111,47	82,43	74,36				
3	6	0,07	130	10	0	0	30	0	0	0	20	2	30,3	195,6	134	60	8,7	1985	30	30	3,3	1,48	1,48	8,33	26	259	134	165,79	44,38	54,83				
4	1	0,085	130	7,5	0	0	20	1	0	1	17,5	0	0	203,4	201	0	3,01	172	36	0	2,24	1,56	0	7,93	28,9	349	182	155,5	52,34	52,84				
4	2	1,375	130	10	0	0	30	0	0	0	32,5	0	0	219,6	193	125	1,1	36	0	0	1,56	0	0	8,02	28,5	372	193	165,79	66,31	78,80				
4	3	0,22	170	5	0	0	25	0	1,7	1,7	25	4	15,2	229,8	178	105	3,4	53	230	230	1,72	2,36	2,36	8,02	27,5	346	178	145,08	79,67	86,33				
4	4	0,26	120	5	0	0	20	0	0	0	25	6	0	180,3	154	95	1	91	36	36	1,96	1,56	1,56	7,96	26,7	297	154	330,13	54,50	31,98				
4	5	0	110	10	0	0	20	1	0	1	25	1	0	183,9	143	50	6,3	500	240	240	2,7	2,38	2,38	7,97	27,5	273	143	115,85	72,53	50,78				
4	6	0,18	140	20	0	0	45	7	13,2	20,2	40	6	0	270,3	182	80	4,25	3500	0	0	3,54	0	0	7,93	28,9	349	182	431,34	75,30	56,02				
5	1	0,135	130	10	0	0	20	1	0	1	17,5	0	6,1	193,5	186	75	2,12	110	0	0	2,04	0	0	7,94	28,8	345	179	165,79	54,13	51,92				
5	2	0,12	115	7,5	0	0	27,5	0,5	1,45	1,95	17,5	0	6,1	168,3	197	105	0,7	114	0	0	2,06	0	0	8,01	28,7	380	197	118,04	56,37	73,84				
5	3	0,39	100	10	0	0	20	0	0	0	25	11	18,2	155,6	195	115	1,1	45	230	230	1,65	2,36	2,36	7,95	27,9	359	195	290,88	80,84	88,88				
5	4	0,05	110	5	0	0	20	0	0	0	25	3	0	171,3	150	120	7,55	210	430	430	2,32	2,63	2,63	7,85	26,9	290	150	295,26	92,37	65,02				
5	5	0,55	110	10	0	16,6	20	1	0	1	35	0	0	203,4	150	75	7,4	470	430	430	2,67	2,63	2,63	7,96	27,3	290	150	115,85	102,30	120,76				
5	6	0,15	130	15	0	0	25	0	8,7	8,7	40	2	0	222,3	179	60	5,9	4620	0	0	3,67	0	0	7,94	28,8	345	179	166,38	50,16	52,98				
6	1	0,795	120	10	0,05	17	20	0	0,15	0,15	17,5	0	0	221,1	153	47,5	2,27	5	230	230	0,7	2,36	2,36	7,73	28,9	313	162	140,02	83,95	86,36				
6	2	0,13	100	5	0	16	27,5	0	0,75	0,75	17,5	2	3	194,1	180	105	0,95	1	36	0	0	1,56	0	0	7,71	29,6	348	180	170,19	45,76	71,12			
6	3	0,27	110	5	0,1	19,2	20	0	0	0	25	12	15,2	148,8	175	90	2,3	54	230	230	1,73	2,36	2,36	7,65	29,2	334	175	295,26	79,66	108,73				
6	4	0,81	70	25	0,1	17,3	20	0	0	0	20	3	0	193,8	142	52,5	4,8	605	11000	11000	2,78	4,04	4,04	7,78	27,6	285	142	177,74	1498,42	1493,82				
6	5	1,11	140	10	0	16	20	2	0	2	15	2	0	250,5	139	55	8,75	115	230	230	2,06	2,36	2,36	7,66	28,6	288	139	190,76	77,73	56,30				
6	6	0,69	160	10	0	15,1	20	0	3,5	3,5	25	17	0	162,5	162	30	4,9	45	90	90	1,65	1,95	1,95	7,73	28,9	313	162	440,7	62,30	72,92				
7	1	2,55	115	10	0	20	20	0	0	0	2	0	0	231,3	83	17,5	0,72	9	2400	430	0,95	3,38	2,63	7,6	29,1	289	149	138,34	118,37	95,99				
7	2	0,135	125	7,5	0,1	19,5	22,5	0	0,25	0,25	30	5	0	224,4	169	60	0,65	176	230	36	2,25	2,36	1,56	7,7	27,3	327	169	143,01	58,24	64,60				
7	3	0,36	100	5	0	25,1	20	0	0	0	20	13	0	185,7	172	65	1,8	165	230	230	2,22	2,36	2,36	7,76	29,6	332	172	170,79	197,71	198,00				
7	4	0,95	150	15	0,2	15,8	40	0	0,3	0,3	25	77	0	228,6	140	35	6,4	1560	2400	2400	3,19	3,38	3,38	7,71	27,9	270	140	436,32	162,79	172,76				
7	5	0,83	100	10	0	15,8	30	1	0	1	30	0	0	195,3	112	45	8,4	545	1200	1200	2,74	3,08	3,08	7,5	28,2	218	112	290,88	77,73	82,80				
7	6	1,25	120	15	0	17	20	0	0	0	25	20	0	217,5	149	40	9,2	420	1500	1500	2,62	3,18	3,18	7,6	29,1	289	149	161,41	127,87	122,76				
Mínimo		0,00	70,00	5,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,60	83,00	0,00	0,45	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	21,10	218,00	112,00	270,29	44,38	31,98				
Máximo		2,55	170,00	15,00	4,00	25,10	65,00	14,00	13,20	20,20	40,00	77,00	30,30	279,30	201,00	132,50	9,90	4620,00	11000,00	11000,00	3,67	4,04	4,04	8,41	29,60	380,00	197,00	445,08	1498,42	1493,82				
Promedio		0,38	123,10	8,19	0,32	5,39	23,85	0,83	0,87	1,71	23,51	5,27	7,86	196,22	162,74	76,19	4,01	452,89	561,93	486,21	1,98	1,83	1,61	8,02	26,31	312,12	161,69	144,14	114,62	114,92				
Desviación		0,51	18,58	4,56	1,07	8,60	7,89	2,40	2,48	3,99	8,71	12,33	9,22	161,59	123,77	31,08	3,89	937,43	1740,61	1720,58	0,85	1,10	1,19	0,27	2,76	36,59	19,17	47,34	217,84	216,48				

Tabla 2. ICA promedio observado para estación 1 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	Awi	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	8,40	2	0,06024096	8	139,50	8,40
2	DO	(mg/L)	4,24	4	0,12048193	5	107,95	13,01
3	Temp	°C	21,73	1	0,03012048	20	108,67	3,27
4	Conductivity	(µS/cm)	302,50	2,5	0,0753012	500	60,50	4,56
5	Hardness	(mg/L)	345,82	1	0,03012048	200	172,91	5,21
6	Alkalinity	(mg/L)	85,83	1,5	0,04518072	100	85,83	3,88
7	K	mg/l	23,17	1	0,03012048	20	115,83	3,49
8	Na	(mg/L)	0,00	1	0,03012048	200	0,00	0,00
9	Fe	mg/l	0,04	3	0,09036145	1	4,00	0,36
10	Mn	mg/l	0,13	4	0,12048193	0,4	32,50	3,92
11	NO3	(µg/L)	0,07	2,2	0,06626506	50	0,13	0,01
12	NO2	(µg/L)	2,50	2	0,06024096	3	83,33	5,02
13	SO4	mg/l	13,75	2	0,06024096	25	55,00	3,31
14	CF	NMP	83,67	4	0,12048193	100	83,67	10,08
15	Cl	mg/l	1,75	2	0,06024096	250	0,70	0,04
Total				33,2	1		ICA	64,56

Tabla 3. ICA promedio observado para la estación 2 durante los seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	Awi	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	8,17	2	0,06309148	8	117,00	7,38
2	DO	(mg/L)	3,73	4	0,12618297	5	113,28	14,29
3	Temp	°C	23,05	1	0,03154574	20	115,25	3,64
4	Conductivity	(µS/cm)	336,67	2,5	0,07886435	500	67,33	5,31
5	Hardness	(mg/L)	357,94	1	0,03154574	200	178,97	5,65
7	K	mg/l	21,67	1	0,03154574	20	108,33	3,42
8	Na	(mg/L)	0,00	1	0,03154574	200	0,00	0,00
9	Fe	mg/l	0,28	3	0,09463722	1	27,67	2,62
10	Mn	mg/l	0,08	4	0,12618297	0,4	19,17	2,42
11	NO3	(µg/L)	0,08	2,2	0,06940063	50	0,17	0,01
12	NO2	(µg/L)	0,50	2	0,06309148	3	16,67	1,05
13	SO4	mg/l	22,50	2	0,06309148	25	90,00	5,68
14	CF	NMP	112,83	4	0,12618297	100	112,83	14,24
15	Cl	mg/l	2,50	2	0,06309148	250	1,00	0,06
Total				31,7	1		ICA	65,76

Tabla 4. ICA promedio observado para la estación 3 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	AwI	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	8,29	2	0,06309148	8	129,33	8,16
2	DO	(mg/L)	4,28	4	0,12618297	5	107,50	13,56
3	Temp	°C	26,02	1	0,03154574	20	130,08	4,10
4	Conductivity	(µS/cm)	282,17	2,5	0,07886435	500	56,43	4,45
5	Hardness	(mg/L)	329,80	1	0,03154574	200	164,90	5,20
7	K	mg/l	23,33	1	0,03154574	20	116,67	3,68
8	Na	(mg/L)	0,00	1	0,03154574	200	0,00	0,00
9	Fe	mg/l	0,15	3	0,09463722	1	15,00	1,42
10	Mn	mg/l	0,09	4	0,12618297	0,4	21,67	2,73
11	NO3	(µg/L)	0,97	2,2	0,06940063	50	1,93	0,13
12	NO2	(µg/L)	0,42	2	0,06309148	3	13,89	0,88
13	SO4	mg/l	19,17	2	0,06309148	25	76,67	4,84
14	CF	NMP	81,67	4	0,12618297	100	81,67	10,30
15	Cl	mg/l	1,67	2	0,06309148	250	0,67	0,04
Total				31,7	1		ICA	59,51

Tabla 5. ICA promedio observado para la estación 4 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	AwI	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	7,97	2	0,06309148	8	97,17	6,13
2	DO	(mg/L)	3,18	4	0,12618297	5	118,99	15,01
3	Temp	°C	28,00	1	0,03154574	20	140,00	4,42
4	Conductivity	(µS/cm)	331,00	2,5	0,07886435	500	66,20	5,22
5	Hardness	(mg/L)	372,40	1	0,03154574	200	186,20	5,87
7	K	mg/l	30,00	1	0,03154574	20	150,00	4,73
8	Na	(mg/L)	0,00	1	0,03154574	200	0,00	0,00
9	Fe	mg/l	0,36	3	0,09463722	1	35,50	3,36
10	Mn	mg/l	0,00	4	0,12618297	0,4	0,00	0,00
11	NO3	(µg/L)	2,48	2,2	0,06940063	50	4,97	0,34
12	NO2	(µg/L)	1,50	2	0,06309148	3	50,00	3,15
13	SO4	mg/l	30,83	2	0,06309148	25	123,33	7,78
14	CF	NMP	84,33	4	0,12618297	100	84,33	10,64
15	Cl	mg/l	2,83	2	0,06309148	250	1,13	0,07
Total				31,7	1		ICA	66,74

Tabla 6. ICA promedio observado para la estación 5 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	AwI	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	7,942	2,000	0,063	8,000	94,167	5,941
2	DO	(mg/L)	4,128	4,000	0,126	5,000	109,080	13,764
3	Temp	°C	28,067	1,000	0,032	20,000	140,333	4,427
4	Conductivity	(µS/cm)	334,833	2,500	0,079	500,000	66,967	5,281
5	Hardness	(mg/L)	328,700	1,000	0,032	200,000	164,350	5,185
7	K	mg/l	22,083	1,000	0,032	20,000	110,417	3,483
8	Na	(mg/L)	2,767	1,000	0,032	200,000	1,383	0,044
9	Fe	mg/l	0,233	3,000	0,095	1,000	23,333	2,208
10	Mn	mg/l	0,000	4,000	0,126	0,400	0,000	0,000
11	NO3	(µg/L)	1,692	2,200	0,069	50,000	3,383	0,235
12	NO2	(µg/L)	0,417	2,000	0,063	3,000	13,889	0,876
13	SO4	mg/l	33,333	2,000	0,063	25,000	133,333	8,412
14	CF	NMP	181,667	4,000	0,126	100,000	181,667	22,923
15	Cl	mg/l	2,667	2,000	0,063	250,000	1,067	0,067
Total				31,700	1,000		ICA	72,847

Tabla 7. ICA promedio observado para la estación 6 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	AwI	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	7,71	2,00	0,06	8,00	71,00	4,48
2	DO	(mg/L)	4,00	4,00	0,13	5,00	110,47	13,94
3	Temp	°C	28,80	1,00	0,03	20,00	144,00	4,54
4	Conductivity	(µS/cm)	310,17	2,50	0,08	500,00	62,03	4,89
5	Hardness	(mg/L)	335,93	1,00	0,03	200,00	167,96	5,30
7	K	mg/l	21,25	1,00	0,03	20,00	106,25	3,35
8	Na	(mg/L)	17,43	1,00	0,03	200,00	8,72	0,27
9	Fe	mg/l	0,63	3,00	0,09	1,00	63,00	5,96
10	Mn	mg/l	0,04	4,00	0,13	0,40	10,42	1,31
11	NO3	(µg/L)	0,73	2,20	0,07	50,00	1,47	0,10
12	NO2	(µg/L)	0,33	2,00	0,06	3,00	11,11	0,70
13	SO4	mg/l	23,33	2,00	0,06	25,00	93,33	5,89
14	CF	NMP	1963,33	4,00	0,13	100,00	1963,33	247,74
15	Cl	mg/l	6,00	2,00	0,06	250,00	2,40	0,15
Total				31,70	1,00		ICA	298,64

Tabla 8. ICA promedio observado para la estación 7 durante el periodo de seis meses.

Numero	Parametros	Unidades	Ci	AwI	RW	Si	Qi	Sii
1	pH	(pH	7,65	2	0,06309148	8	64,50	4,07
2	DO	(mg/L)	4,53	4	0,12618297	5	104,91	13,24
3	Temp	°C	28,53	1	0,03154574	20	142,67	4,50
4	Conductivity	(µS/cm)	287,50	2,5	0,07886435	500	57,50	4,53
5	Hardness	(mg/L)	338,38	1	0,03154574	200	169,19	5,34
7	K	mg/l	25,42	1	0,03154574	20	127,08	4,01
8	Na	(mg/L)	18,87	1	0,03154574	200	9,43	0,30
9	Fe	mg/l	1,01	3	0,09463722	1	101,33	9,59
10	Mn	mg/l	0,05	4	0,12618297	0,4	12,50	1,58
11	NO3	(µg/L)	0,09	2,2	0,06940063	50	0,18	0,01
12	NO2	(µg/L)	0,17	2	0,06309148	3	5,56	0,35
13	SO4	mg/l	21,67	2	0,06309148	25	86,67	5,47
14	CF	NMP	966,00	4	0,12618297	100	966,00	121,89
15	Cl	mg/l	19,50	2	0,06309148	250	7,80	0,49
Total				31,7	1		ICA	175,37

Tabla 9. Análisis de varianza para el ICA por efecto de los sitios de muestreo en la Cuenca del Rio Guarapiche.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor Fc	Pr>F
Modelo	5.0000	0.6991	0.1398	3.0500	0.0396
Error	36.0000	2.4084	0.0669		
Total correcto	41.0000	3.1075			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ICA1 Media		
0.2250	13.6722	0.2586	1.8918		

Tabla 10. Prueba de LDS para los valores ICA de las diferentes estaciones de muestreo.

t Agrupamiento	Media	N	Sitio
A	2.1602	6	7
A			
BA	2.061	6	6
BC	1.8543	6	5
BC			
BC	1.8072	6	2
BC			
BC	1.7873	6	1
C			
C	7.7623	6	3

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 11. Análisis de varianza para el ICA por efecto de los meses de muestreo en la Cuenca del Rio Guarapiche.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor Fc	Pr>F
Modelo	6.000	0.858	0.143	3.250	0.030
Error	35.000	2.250	0.064		
Total correcto	41.000	3.108			
R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ICA1 Media		
0.2760	3.6713.4024121	0.2535	1.8918		

Tabla 12. Prueba de LDS para los valores ICA de los diferentes meses de muestreo.

t Agrupamiento	Media	N	Epoca
A	2.1356	7	4
A			
BA	1.9391	7	3
BA			
BA	1.9177	7	5
B			
B	1.8216	7	6
B			
B	1.801	7	1
B			
B	1.7357	7	2

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

Título	Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: cuenca del río guarapiche, Monagas, Venezuela
---------------	---

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Figuera Pulido, Alberto José	CVLAC	C.I: 22970877
	e-mail	albertfgr30@gmail.com
	CVLAC	C.I:
	e-mail	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

índice de calidad del agua
variables físico-químicas y bacteriológicas
rio guarapiche
tesis de grado

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Agronómica

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

El objetivo de esta investigación fue evaluar el índice de calidad del agua (ICA) en el río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela, medido por el método del índice aritmético ponderado. Para ello, se evaluó catorce parámetros de calidad del agua (temperatura, pH, dureza, CE, nitrato, nitritos, sulfato, cloruros, OD, Fe, Mn, Ni, K, y CF). El peso relativo asignado a cada parámetro varió de uno a cuatro basado sobre la importancia del parámetro para la vida acuática. Los valores de ICA van desde 44,38 (muestreo estación San Félix) a 363,69 (estación de muestreo Palmonagas). El impacto de varias actividades antropogénicas fue evidente en algunos parámetro como Mn, NO₃, NO₂, y CF. Se sugiere que el monitoreo del río es necesario para una gestión adecuada. La aplicación del ICA se recomienda como una herramienta muy útil que permite al público y a los responsables de la toma de decisiones, evaluar la calidad del agua de los ríos en Venezuela. Palabras clave: índice de calidad del agua; recursos hídricos; río Guarapiche; antropogénicas; Venezuela.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Dr. José Gil	ROL	CA ☐ AS ☒ TU ☐ JU ☐
	CVLAC	C.I 8469875
	e-mail	jalexgil2005@hotmail.com
Dr. Ivan Maza	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	C.I 8373371
	e-mail	ivanjosemaza@gmail.com
MSc. Celeidys Vizcaino	ROL	CA ☐ AS ☐ TU ☐ JU ☒
	CVLAC	C.I 12225089
	e-mail	Vizcaino.udomonagas@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2021	07	21

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
NMOTTG_FPA2021

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)
Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Agrónomo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNVELO
Secretario



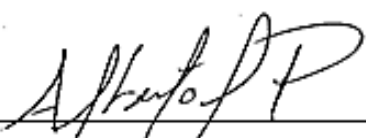
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/manja

Derechos:

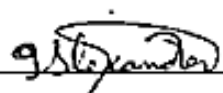
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (VIGENTE a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009):

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, que deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.”



Alberto José Figueroa Pulido

Autor



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor académico