



*Índice de Calidad de las Aguas  
Superficiales de la Cuenca Mayarí  
Segundo Frente  
Tesis en Opción al Título de Ingeniero  
Hidráulico*

*Diplomante: Ana Luisa Sarmiento De La Torre*

*Tutora: M.Sc. Ing. María Teresa Durand Ing.  
Alain Paneque Martínez*

*Santiago de Cuba, Junio 2020  
Año 62 de la Revolución*

*Pensamiento*

## Pensamiento



### Pensamiento

...Si se quiere salvar a la humanidad de esa autodestrucción...Utilícese toda la ciencia necesaria para un desarrollo sostenido sin contaminación. Páguese la deuda ecológica y no la deuda externa. Desaparezca el hambre y no el hombre.

Fidel Castro

FIDEL CASTRO

Y no la deuda externa. Desaparezca el hambre y no el hombre.

*Dedicatoria*

## *Dedicatoria*

A las personas que me guían y a las cuales les debo este fruto por todo el tiempo dedicado a mí, por estar presente en cada momento de mi vida, por sus consejos y ayuda, les dedico este trabajo:

- A mi madre querida Ana Edith De la Torre González por su apoyo incondicional, por estar a mi lado en todos los momentos difíciles.
- A mi esposo Yulexi Leyva Ferreiro por ser un pilar fundamental en mi vida.
- A mi niño Anthony Brayan Leyva Sarmiento por ser mi motor impulsor
- A mis hermanas Adisleidis Creagh de la Torre y Anisley Sarmiento de la Torre por todo su apoyo incondicional
- A mi tío Alejandro de la Torre González apoyándome aun desde unos cuantos kilómetros de distancia.
- Al profesor Mario que sin su ayuda no hubiera sido posible mi ingreso a la Universidad.
- A mis tutores Teresa y Alain por su apoyo y confianza.
- A los profesores del departamento de Hidráulica, gracias por formarme estos 5 años.
- A la Virgen de la Caridad del Cobre por darme fe para cumplir con mi meta.
- A mis compañeros de aula: Danay, Onel, José Antonio, Celia Yaima, Rosmery.

A todos muchas gracias....

*Agradecimientos*

## *Agradecimientos*

Agradezco infinitamente a mi madre Ana Edith de la Torre González por su apoyo incondicional, A mi esposo Yulexi Leyva Ferreiro por ser un pilar fundamental en mi vida, por su paciencia y comprensión. A mis hermanas Adis y Anisley.

A mi tío Alejandro, a mis compañeros de aula: Onel, Danay, Celia Yaima, José, Rosmery, a todos les agradezco por soportarme estos cinco años de Universidad.

*Resumen*



## Resumen

Un ICAs es un algoritmo que expresa, una medida de la evaluación del estado cualitativo de la calidad del agua. Es una expresión simplificada de una compleja combinación de factores diferentes, cuyo éxito en su aplicación depende de su confiabilidad y de la cantidad de información, realmente resumida y utilizable, que ofrezca. Su resultado final, puede ser un número, un símbolo único o una combinación simple de variables numéricas o alfa-numéricas, mide en términos de calidad lo que diseñaron sus autores conceptualmente. Este tiene como objetivo mostrar la variación espacial y temporal de la calidad de las aguas, evidenciando la tendencia a mejoras o empeoramiento de dicha calidad. Por la importancia de la cuenca Mayarí Santiago de Cuba, se agregó el análisis de los macro-constituyentes para que permita analizar la posibilidad de aumentar los puntos de muestreos en la Red Cal.

*Abstract*

## *Abstract*

An ICAs is an algorithm that expresses, a measure of the evaluation of the qualitative state of the quality of the water. It is a simplified expression of a complex combination of different factors whose success in its application depends on its dependability and of the quantity of information, really summarized and usable, that he/she offers. Their final result, it can be a number, an unique symbol or a simple combination of numeric or alpha-numeric variables, it measures in terms of quality what their authors designed conceptually. This has as objective to show the space variation and storm of the quality of the waters, evidencing the tendency to improvements or worsening of this quality. For the importance of the basin Mayarí Santiago from Cuba, the analysis of the macro-constituent ones was added so that it allows to analyze the possibility to increase the points of samplings in the Net Lime.

# Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Búsqueda Bibliográfica.....	6
1.1 Generalidades sobre cuencas hidrográficas.....	6
1.2 Índice de calidad de las aguas superficiales (ICAs).....	8
1.2.1 Objetivo del ICAs.....	10
1.2.2 Ventajas del ICAs.....	10
1.2.3 Metodología general del diseño de los ICAs.....	11
1.3 Generalidades de variables utilizadas en la evolución de calidad de las aguas.....	12
1.3.1 Clasificación de la calidad del agua del cuerpo receptor.....	14
1.3.2 Historia sobre el cálculo del ICAs.....	16
1.3.3 Índice de calidad de agua superficial(ICAs) desarrollados y aplicados en Cuba.....	17
1.4 Macro-constituyentes.....	20
1.4.1Aporte de la concentración iónica a la EC.....	22
1.4.2 Chequeo del análisis del laboratorio.....	23
CAPITULO II Características del área de estudio cuenca Mayarí Santiago...25	
2.1 Características generales de la cuenca del rio Mayarí.....	25
2.1.1 Principales impactos ambientales en el área de la cuenca del rio Mayarí.....	28
2.1.2 Fuentes Contaminantes.....	29
CAPITULO III Determinación del Índice de Calidad de las aguas (ICAs)....31	
3.1 Disponibilidad de la información.....	31
3.1.1 Metodología de cálculo para el ICAs.....	32
Conclusiones.....	39

Recomendaciones.....	40
Bibliografía.....	41
Anexos.....	43

## **INTRODUCCION**

El agua es esencial para la vida, tiene una importancia clave para la salud, el desarrollo y, por lo tanto, la reducción de la pobreza. Todos los aspectos de las actividades naturales y humanas tienen relación con el agua, sin embargo, en ese proceso de aprovechamiento se ha hecho un mal uso del mismo, debido principalmente a un contexto global de crecimiento exponencial de la población, y por ende, una demanda de alimentos y agua potable en constante incremento. Añadiéndole a esta presión de los ecosistemas, la contaminación y el actual cambio climático, que repercuten de manera significativa en la disponibilidad espacial y temporal de los recursos hídricos.

En ese sentido, es necesario tener un conocimiento básico de la cuenca hidrográfica, como unidad mínima de gestión, para poder hacer una caracterización y diagnóstico del recurso hídrico, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

El agua se considera un recurso renovable, pues se renueva constantemente a través del ciclo hidrológico. Sin embargo, esto no significa que es infinito. El consumo de este recurso aumenta rápidamente y sus fuentes de suministro están muy amenazadas por los contaminantes generados por el hombre. Se requiere entonces manejar adecuadamente este recurso y monitorear constantemente su calidad.

Una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cuerpos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso. El monitoreo de las fuentes de agua se convierte en una herramienta de gran importancia para su vigilancia. Los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas. Los objetivos principales de una red de medida de la calidad de las aguas pueden ser:

- ✓ Describir las condiciones actuales de la calidad de las aguas.
- ✓ Analizar las tendencias a largo plazo.

- ✓ Identificar los factores que afectan a la calidad de las aguas.

A la vista de los objetivos específicos perseguidos en cada caso, la definición de una red de calidad de las aguas no solo consistirá en la ubicación de los puntos de muestreo, sino en el establecimiento de programas de control de la calidad de las aguas, en los que hay que definir el objetivo principal del muestreo, la población a muestrear, la precisión y el intervalo de confianza de los análisis, el número de muestras a obtener en cada caso y la frecuencia de muestreo. Estos programas permiten así evaluar la efectividad de las políticas ambientales emprendidas, los efectos que sobre la calidad del recurso tienen los cambios en los usos del suelo y en las actividades productivas, caracterizar estadísticamente la contaminación, y evaluar las frecuencias de excedencia de los estándares de calidad en relación a los usos asignados. La aptitud del agua para satisfacer usos diversos, en general, abastecimiento doméstico, baño, desarrollo de vida piscícola, industrias y regadíos, se suele caracterizar en función de la superación o no, en un periodo temporal, de unos determinados valores para los distintos parámetros de calidad muestreados. Esta es la razón por la cual las estaciones que periódicamente suministran esta información se localizan en tramos de río en que las aguas se utilizan para satisfacer los distintos usos. En Cuba la creciente demanda del recurso agua, unido a su paulatino deterioro hacen que las actuaciones medioambientales por parte de las administraciones tengan que plantear nuevas metas en la gestión y control de los recursos naturales.

En las dos últimas décadas a nivel mundial, con el objetivo de abordar el problema de la calidad en las aguas, se han desarrollado una serie de metodologías que permiten tener una valoración de la calidad ecológica de las aguas terrestres, entre la que se destaca por su integridad y coherencia la Directiva Marco del Agua (DMA) (Sánchez 2010), que tiene como objetivo estandarizar los estudios encaminados al conocimiento del estado del recurso agua en el área. Para el logro de este objetivo, en el caso de las corrientes superficiales, se han desarrollado un grupo de indicadores o elementos de la calidad ecológica de las masas de agua a partir de una serie de metodologías, basadas fundamentalmente en índices que permiten

evaluar la calidad hidro-morfológica, físico-química y biológica de estas. Una ventaja de esta metodología es que los grupos de organismos que proponen analizar (especialmente los macro-invertebrados) integran muchos más parámetros que los exclusivamente fisicoquímicos, y presentan un efecto «memoria» que registra los cambios históricos, que se producen en los ecosistemas acuáticos (Sánchez 2010).

El potencial hídrico en Cuba asciende a  $38.1 \text{ km}^3$ , de los cuales  $31.6 \text{ km}^3$  (73.4%) corresponden a las aguas superficiales y  $6.5 \text{ km}^3$  (26.6%) a las aguas subterráneas. De este potencial solo son aprovechables  $24 \text{ km}^3$  y de ellos están disponibles  $13.6 \text{ km}^3$ , con una mayor incidencia en las aguas superficiales (67%). El desarrollo hidráulico cubano ha posibilitado utilizar el 57% de los recursos hídricos aprovechables, mediante la creación de la infraestructura técnica pertinente para incrementar en 200 veces la capacidad de embalse del país y lograr que el 96% de toda la población tuviese acceso al agua potable y el 95% al saneamiento.

La cuenca completa del río Mayarí comprende un área de  $1261 \text{ km}^2$  (población de 106 145 habitantes para un  $86.22 \text{ hab/km}^2$ ) que se localiza entre las regiones físico-geográficas alturas de Mayarí y montañas de Nipe Cristal. Su nacimiento se ubica en la Sierra de Mícaro y alto de San Fernando en el municipio Segundo Frente. Abarca las vertientes NE y SE de la subregión Sierra de Nipe y las vertientes NO y SO de la subregión Sierra del Cristal. La orientación del cauce es de Sur a Norte. El 60.7% del área de la cuenca abarca territorios del municipio de Segundo Frente y el 39.3% restante el área total se encuentra en el municipio Mayarí, de la provincia de Holguín. En la cuenca debido al régimen de precipitación del territorio, el potencial hidráulico subterráneo es de  $10.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ , y el superficial está caracterizado por un gasto medio hiperanual de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  y un volumen de  $407.2 \text{ hm}^3$  siendo el potencial hidráulico de  $417.9 \text{ hm}^3$ , lo que constituye un valioso recurso, tanto para la economía como para el medio ambiente.





Figura # 1 Rio Mayarí

**Problema de investigación:**

La contaminación de las aguas superficiales de la Cuenca hidrográfica del río Mayarí en la provincia Santiago de Cuba, provocados por toda la actividad socioeconómica que generan un alto por ciento de residuales tanto domésticos, industriales y hospitalarios, empresas del MINAGRI, despulpadoras de café, y porcinos estatales y de uso particular, lo que conlleva a impactar negativamente en la sociedad mayaricera.

**Objeto:** Calidad de las aguas superficiales en cuencas hidrográficas.

**Objetivo General:**

Evaluar los índices de calidad de las aguas (ICAs) superficiales de la cuenca hidrográfica Mayarí-Santiago de Cuba.

**Objetivos Específicos:**

- Realizar una revisión y análisis bibliográfico de los índices de calidad de las aguas (ICAs) superficiales.
- Caracterizar la cuenca hidrográfica Mayarí-Santiago de Cuba.
- Calcular los ICAs en la cuenca hidrográfica Mayarí-Santiago de Cuba.

### **Campo de Acción:**

Índice de calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Mayarí –Santiago.

### **Hipótesis**

Si se logra determinar los índices de calidad de las aguas de la Cuenca Mayarí-Santiago de Cuba y realizar un análisis de los macro-constituyentes (aniones y cationes) se podrá atemperar la contaminación provocada por las empresas del MINAGRI, despulpadoras de café, y porcinos de uso particular y estatal que afecta el desarrollo de las actividades humanas en esta área geográfica.

## **CAPITULO I: Búsqueda bibliográfica**

Toda investigación inicia por una búsqueda bibliográfica que permita la ampliación del conocimiento y actualización del tema en estudio. Definir un problema de investigación es el combustible que impulsa el proceso científico y constituye la base de cualquier método de investigación y diseño experimental, desde un experimento verdadero hasta un estudio de caso.

Es indiscutible que el investigar se constituye en una necesidad vital y permanente del ser humano, quien aspira al conocimiento, en busca de la verdad y el sentido de la vida .Por eso aplica la razón, de manera espontánea o intencional, a fin de tratar de esclarecer que es real y cierto y que es una ilusión o un error (Morín 2001).

### **1.1 Generalidades sobre cuencas hidrográficas**

Muchos autores han dado su aporte respecto a su concepto de cuenca hidrográfica. Valderrama Plata, 1985 plantea que una cuenca hidrográfica es el área físico-geográfica delimitada por divisorias topográficas o edáfica en donde las aguas superficiales y subterráneas desembocan en una red natural mediante vertientes que confluyen a su vez en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

También se puede definir a una cuenca hidrográfica como el área natural en donde se acumula el agua proveniente de las precipitaciones formando un cauce principal, las divisorias de agua son formadas naturalmente por los puntos más altos que encierran el río principal y los sistemas de cursos de agua que desembocan en él, formando así una unidad fisiográfica. (Ramakrishna, 1997).

Según Rendón las cuencas son un elemento clave para hacer frente a la crisis ambiental, debido a que los principales beneficios de estas son fruto de las funciones inherentes a los ecosistemas.

Una cuenca hídrica constituye la unidad básica de estudio en hidrología. Puede definirse, desde un punto de vista sistémico como un área de tierra donde toda el agua que escurre por su superficie o debajo de ella es drenada por el sistema de corrientes y confluye en un mismo punto (Aparicio Mijares 1999, Davie 2008).

La cuenca hidrográfica, se distingue por lo general por tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

Arreola-Muñoz (s/f), establece que “las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal ya que implica la relación directa entre las partes altas, cercanas al nacimiento de las aguas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta de manera determinante a la parte baja.



Figura # 2.Cuenca Hidrográfica.

## **1.2- Índice de Calidad de las Aguas Superficial (ICAs)**

El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción, la evaluación de calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigaciones del mismo, garantizando el suministro de agua segura. Una herramienta son los índices de calidad del agua ICAs, los de tipo multiplicativo son más sensibles a las variaciones en la calidad del agua de los de tipo aditivo. Aquellos que consideran las variaciones en el tiempo y en el espacio y además permiten una comparación con la normativa vigente en la zona de estudio.

El marcado deterioro de los cuerpos de agua superficial hace prioritaria su evaluación con el fin de tomar acciones de control y mitigación del nivel de riesgo que será determinante en la complejidad y costos del tratamiento del agua para consumo humano, como la evidencia la reglamentación vigente para aguas superficiales, destinadas al consumo humano. En el decreto 1594 son consideradas dos opciones de tratamiento dependiendo de la calidad del agua cruda, solo desinfección y tratamiento convencional.

En términos simples, un ICAs 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 determinar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. Estos surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos.

El ICAs se ha convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general. Este es un indicador compuesto que integra información de varios parámetros de calidad del agua y presenta diferentes metodologías según su autor. Este índice es una herramienta matemática para la calidad y puede ser utilizado para transformar grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única.

Según Sharma y Chhipa la calidad del agua se puede clasificar en excelente, buena, pobre, muy pobre y no apta en función del valor ICAs.7+6.

Según Fernández y Solano (2005), se conocen más de 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que se encuentran entre 3 y 72.

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. De acuerdo con Ott (1978), los posibles usos de los índices son seis:

- Manejo del recurso: pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- Clasificación de áreas: para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- Aplicación y normatividad: permite determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- Análisis de la tendencia: el análisis de los índices en un periodo de tiempo, pueden mostrar si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- Información pública: los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental.
- Investigación Científica: simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

La mayoría de estos índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros: OD (Oxígeno Disuelto), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitrato (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fósforo en forma de orto fosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (STD).

Entre los ICAs más empleados se destaca el propuesto por (Brown *et al.* 1970) que es una versión modificada del Water Quality Index (WQI), desarrollada por la de la National Sanitation Foundation (ICA- NSF). Este índice goza de amplia difusión y aplicación.

De acuerdo con Rodríguez Horton propone el uso del ICAs para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y es pionero en la generación de una metodología unificada para su cálculo. Ott menciona que el índice general de calidad del agua de Horton utiliza diez variables, incluyendo las comúnmente monitoreadas, tales como oxígeno disuelto (OD) recuento de Coliformes, pH, conductancia específica, alcalinidad, contenido de cloruro y la temperatura.

El método deductivo (ICA-D): consiste en decidir separadamente los parámetros implicados, o sea los indicadores de calidad y sus pesos relativos, dando un rango de valores al ICA frente a la concentración llamado curva promedio. Este método es el más común a aplicar, tiene sus ventajas y desventajas. La principal desventaja radica en que no toma en cuenta la sinergia posible que puede haber entre los indicadores. Su ventaja principal es su sencillez en la obtención y aplicación. Para su construcción se selecciona un grupo de especialistas. Los indicadores y pesos relativos pueden ser analizados según una matriz tipo Delphi.

Conocer el ICAs entre estaciones es lo más importante y depende de la situación de las estaciones y su número. Lo cual indica colocar estaciones antes y después de las descargas, así como estaciones auxiliares en distancia media entre la siguiente. Dicho de otra forma, no se pueden dejar distancias sin monitorear entre estaciones afectadas o en recuperación.

El mejor indicador es el cambio de categoría de calidad entre estaciones, es necesario una estación auxiliar aguas arriba de esta estación.

### **1.2.1 Objetivo del ICAs**

El ICAs tiene como objetivo evaluar la calidad de las aguas superficiales en las cuencas hidrográficas a partir de los programas de monitoreo vigentes. Los indicadores seleccionados deben reflejar aquellos problemas causados por la actividad económica y social que producen directa o indirectamente un mayor impacto negativo en la calidad de los recursos y pueda afectar sus usos previstos.

### **1.2.2 Ventajas del ICAs**

Díaz, 2014 refiere que el ICAs tiene como ventajas las siguientes:

- Permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad de las aguas, evidenciando la tendencia a mejoras o empeoramiento de dicha calidad.
- Es un procedimiento relativamente sencillo que expresa de forma resumida la calidad de las aguas.
- Método simple conciso y valido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.
- Relaciona, de acuerdo a su estructura, su valor con determinados usos del agua.
- Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.
- Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.
- Permite a los usuarios, público en general y tomadores de decisiones una fácil interpretación de los datos de calidad.
- Clasifica y ordena la calidad de las aguas en las cuencas hidrográficas (superficiales y subterráneas), evaluando las tendencias de la calidad del agua y su relación con las normativa vigentes.
- Elabora tablas y mapas temáticos sobre los parámetros seleccionados, en cuencas, sub-cuencas y tramos de cuerpos de agua, donde se muestra la tendencia de los indicadores y su mutua interrelación.
- Controla operativamente en tiempo real el estado de la calidad del agua en los puntos de control (estaciones de monitoreo).
- Evalúa de manera sistemática los programas de monitoreo, así como el estado técnico de los laboratorios asociados al monitoreo, teniendo en cuenta los ejercicios de intercalibración de la calidad de los datos suministrados, si esta tarea se incluye en el diseño.

### **1.2.3. Metodología general de diseño de los ICAs**

.Díaz, 2014 refiere que la metodología de diseño de cualquier tipo de ICAs, en forma general, es la siguiente:

- Selección de la institución y líder del Grupo del diseño y aplicación del ICAs.
- Selección de los especialistas participantes, debe ser un grupo multivalente (químicos, hidrólogos, hidrogeológicos, biólogos, entre otros).



- Selección del tipo de ICA y sus objetivos específicos.
- Selección de los indicadores de calidad del agua.
- Definición de los pesos relativos de cada parámetro.
- Elaboración de la escala de valores de calidad del agua de acuerdo con los niveles de concentración de cada indicador seleccionado, se denomina usualmente como “curva promedio”.
- Elaboración del proceso de estructura del cálculo, como dar los resultados del ICAs: Programa de cálculo, tablas, mapas, entre otros.
- Definir la clasificación general de calidad del ICAs, o sea los rangos que se da al ICAs para definir una determinada calidad cualitativa del agua.
- Informe final. Proceso de implementación y aplicación.

### **1.3. Generalidades de variables utilizadas en la evolución de calidad de las aguas:**

#### ✓ **Oxígeno Disuelto (OD).**

El valor del oxígeno disuelto a saturación (100%) en una masa de agua depende de la temperatura, presión y salinidad. Existen múltiples tablas en la literatura, lo usual es emplear la tabla o el método de cálculo empleado en “Standard Method for Examination of Water and Waste Water” (SMWW). Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas (IDEAM, 2004).

#### ✓ **pH:**

Es un parámetro básico de calidad del agua que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Este parámetro tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua. Por lo general, un agua con pH menor de 6.0 es considerada agresiva y corrosiva para los metales. Aguas con pH menor de 6.00 se considera acida, con valores cercanos a 7.00 neutra y alcalina al aumentar su pH.

Las aguas en las corrientes superficiales cubanas presentan un pH en el rango de 6.70 – 8.30. El pH suele ser mayor en época de seca que en periodos lluviosos. El territorio con aguas de menor pH en Cuba es Isla de la Juventud. El pH preferentemente debe medirse en el campo utilizando un equipo portátil (pH Metro), el escape de CO<sub>2</sub> y precipitación de CO<sub>3</sub>Ca suelen aumentar su valor después de transcurrido un tiempo, la diferencia depende de muchos factores pero puede ser significativa y en el orden de 0.2 – 0.7 unidades. (Díaz 2014)

✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica inorgánica, en especial compuestos reductores, en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

La DQO permite hacer estimaciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que a su vez es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua; El término degradable puede interpretarse como expresión de la materia orgánica que puede servir de alimento a las bacterias; a mayor DBO, mayor grado de contaminación. Los residuales domésticos poseen un DBO<sub>5</sub> entre 150 – 300 mg/l. Por tanto, la DQO se relaciona de manera directa con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), asociado a las descargas de materia orgánica y otras. (Díaz 2014).

✓ **Coliformes Totales y Fecales (CF).**

La calidad microbiológica de los cuerpos receptores superficiales en el ICAs se define a través de la densidad de bacterias, expresadas como Coliformes Termo tolerantes o Fecales, ya sean determinadas por el método de tubos múltiples o conteo en placa. Las bacterias del grupo Coliformes presentes en la heces de animales de sangre caliente generalmente incluyen organismos capaces de fermentar la lactosa, produciendo gas a una temperatura cercana a los 44.5 grados Celsius, este es el criterio utilizado para definir el componente fecal en una muestra de agua, lo usual, en el caso de aguas naturales con posibles impactos de aguas residuales domésticas, es llevar a cabo la

determinación del NMP/100ml a partir de la filtración de la muestra y seleccionar la alternativa de 5 tubos con diluciones múltiples, empleando el método de tubos múltiples, también se puede utilizar el método de filtración por membrana.

No hay que olvidar que el valor del NMP/100ml se calcula a partir de expresiones matemáticas de tipo probabilísticas. Luego, cualquier valor siempre tendrá un límite de confianza, se selecciona usualmente de 95%. Entonces, el valor obtenido del NMP/100 ml tendrá un rango de probabilidad, con un valor inferior y superior.

El rango de Coliformes fecales en el ICAs es amplio, pues se puede estar en presencia de aguas muy limpias en las cabeceras de los ríos sin influencia de contaminación, o en tramos afectados por descargas de residuales domésticos. El valor del NMP/ 100 ml de Coliformes fecales puede estar comprendido entre  $20 - 10^7$ . Lo que da lugar a emplear un número de diluciones múltiples apropiadas para el método de los 5 tubos. (Díaz 2014).

### **1.3.1 Clasificación de la calidad del agua del cuerpo receptor**

El valor del ICAs permite clasificar el recurso a partir de rangos establecidos que son definidos considerando el o los usos a evaluar.

Las categorías, esquemas o escalas de clasificación, son un punto de igual o mayor interés que el cálculo en sí del índice, pues es aquí donde finalmente el valor obtenido es transformado en una característica que define la calidad final del agua.

Se propone emplear una clasificación similar a la reportada por García, Beato y Gutiérrez 1983, en la que existen 5 categorías descendentes de calidad del agua.

La representación en color del ICAs de los cuerpos de agua al utilizar: mapas, diagramas circulares o lineales, siguen las recomendaciones de UNESCO-PHI y de otras organizaciones internacionales especializadas. (Tabla # 1).

Tabla # 1. Clasificación de la calidad de las aguas superficiales de acuerdo al ICAs

Clase	Rango de valores del ICA sp	Clasificación	Colores para representar
1	90.00-100.00	Excelente calidad (EX)	Azul intenso
2	89.99-80.00	Aceptable calidad (A)	Verde
3	79.99-70.00	Medianamente contaminada (MC)	Amarillo
4	69.99-60.00	Contaminada (C)	Anaranjado
5	Menor de 59.99	Altamente contaminada (AC)	Rojo

En conclusión los ICAs son una herramienta útil para la evaluación de la calidad del agua, comparados con los índices aditivos, los que se basan en ecuaciones de tipo multiplicativo pueden favorecer la evaluación del riesgo sanitario ya que son más sensibles a las variaciones en la calidad del agua y evitan el fenómeno de eclipsamiento que se presenta cuando se calcula un valor satisfactorio aunque uno o varios de los parámetros que conformen el índice tenga alteración. El ICAs puede ser utilizado de forma satisfactoria para desarrollar los siguientes estudios e investigaciones sobre el estado de la calidad del agua en cuencas hidrográficas.

- Clasificación y ordenamiento de la calidad de las corrientes superficiales, teniendo como unidad básica a la cuenca hidrográfica a las que pertenecen.
- Confección de mapas de calidad de las aguas superficiales, por cuencas, sub-cuencas, tramos, regiones naturales, zonas, provincias y municipios.
- Controlar operativamente el estado de la calidad en los cuerpos de agua superficiales, en ríos, arroyos y obras de entrega de agua.
- Comparar sistemáticamente en tiempo y espacio la dinámica y tendencias de la calidad de las aguas superficiales.
- Evaluar la efectividad y el desarrollo, tanto de los programas de monitoreo y control de la contaminación que se establezcan, así como de las medidas aplicadas para alcanzar la gestión integrada de la cuenca hidrográfica.

### **1.3.2. Historia sobre el cálculo del ICAs.**

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de disímiles discusiones en cuanto a su aplicación para la regulación del recurso hídrico en el mundo ya que esta considera criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia en muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendentes a aplicar criterios de evaluación propios, de tal manera que su aplicabilidad corresponda con sus requerimientos y necesidades.

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad del agua tienen bastante historia. Existe información de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, el desarrollo de ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad en un escala prácticamente continua son relativamente recientes. Horton citado por Rodríguez et al. proponen el uso de ICAs para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y son pioneros en la generación de una metodología unificada para su cálculo; sin embargo, el desarrollo e implementación de un ICAs de manera formal y demostrada lo hicieron Brown et al. Con el apoyo de NSF, basándose en la estructura del índice de Horton y en el método Delphi para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices. La clasificación consideró las características que debe presentar la fuente de captación para su destinación para consumo humano. A pesar de haber sido desarrollado en Estados Unidos, es ampliamente empleado en el mundo y ha sido validado y/o adaptado en diferentes estudios.

En España, Queralt en el año 1982 desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo

humano. Dinius planteó un ICAs conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el cual también se basó en el método Delphi, pero a diferencia del ICA-NSF, cuya clasificación está orientada a aguas a ser empleadas como fuente de captación para consumo humano, considera 5 usos del recurso: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación.

Los ICAs más recientes, cuyo objetivo fundamental es la evaluación de la calidad del agua para consumo humano previo tratamiento, incluyen dentro de su estructura parámetros fisicoquímicos y microbiológicos directamente relacionados con el nivel de riesgo sanitario presente en el agua Montoya y Contreras plantearon el ICAs empleado como herramienta de indicación en el estudio sobre aguas superficiales del Estado de Jalisco-México, conformado por 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos agrupados en 4 categorías: cantidad de materia orgánica; materia bacteriológica presente; características físicas y materia orgánica.

Este índice considera 9 usos, dentro de los cuales se destaca el abastecimiento público En Canadá, el Canadian Council of Ministers of the Environment desarrolló un ICA orientado inicialmente a la evaluación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma o guía de calidad del agua ; dada su flexibilidad en los parámetros y el uso de directrices para protección de la vida acuática que emplea, el índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas.

### **1.3.3 Índice de calidad de agua superficial (ICAs) desarrollados y aplicados en Cuba.**

Se remonta a la década de los años 70. A continuación se citan aquellos ICAs de mayor aplicación en el país:

González y Gutiérrez 1974, desarrollaron un ICAs de tipo deductivo para las aguas subterráneas cubanas, seleccionando 13 parámetros de calidad, clasificando la calidad en seis rangos, donde se empleó la metodología propuesta por Brown. Este ICAs considera dos factores que multiplican la ecuación general de cálculo, F1 Y F2,

relacionándose estos con los metales pesados y los valores de las relaciones hidroquímicas restrictivas. En su estructura.

Gutiérrez, García y Beato 1979 propusieron un ICA para las aguas subterráneas con simplificaciones al ICA de González y Gutiérrez 1974, seleccionando 6 indicadores físico-químicos, uno bacteriológico y uno de percepción denominado contaminación obvia, el cual se relaciona con las características organolépticas y de sólidos presentes en el momento del muestreo. La DBO o DQO y  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  fueron recomendadas como indicadores opcionales. Utiliza 5 rangos de clasificación de la calidad. En su estructura de cálculo utiliza funciones matemáticas continuas entre el valor promedio y la concentración del parámetro. Este ICA es de tipo deductivo.

García, Beato y Gutiérrez 1983 desarrollaron un ICA para aguas superficiales cubanas denominado ICA-S. Se seleccionaron un total de 9 indicadores de calidad, 8 fisicoquímicos y uno bacteriológico. Utiliza 5 rangos de clasificación de la calidad. Tentativamente relaciona el valor obtenido del ICA-S con la potabilidad del agua y el tratamiento requerido. También considera su posible uso en la recreación.

En su estructura de cálculo utiliza funciones matemáticas continuas entre el valor promedio y la concentración del parámetro. Este ICA es de tipo deductivo.

En 1992 García y Gutiérrez llevaron a cabo una revisión de los ICA desarrollados en Cuba entre los 70 y 90, comentando las formulaciones matemáticas utilizadas, los indicadores seleccionados, sus pesos relativos y sus rangos de clasificación de la calidad.

Resumieron conclusiones y recomendaciones a tomar en cuenta en el desarrollo de futuros ICAs en Cuba.

Estos ICAs, que fueron desarrollados por especialista del organismo rector de los recursos hidráulicos del país, según la estructura vigente en ese momento fueron sistemáticamente aplicados en la clasificación de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, mediante la confección de mapas nacionales a escala 1:250 000 y otros.

Posteriormente a ello y más recientemente, De las Cuevas, R. (2007) Y Morales, M (2008), desarrollaron y aplicaron índices de calidad de agua en diferentes cuencas hidrográficas de Matanzas y Ciudad de La Habana respectivamente.

### ✓ **Indicadores**

El valor cuantitativo de los indicadores varía según rangos típicos para aguas limpias y pudieran experimentar cambios negativos de acuerdo con el impacto de las descargas de aguas residuales sean domésticas, agropecuarias, industriales o de otro tipo en los cuerpos receptores. (Tabla #2).

Tabla #2. Indicadores y peso relativo de calidad de las aguas considerados en el ICAs.

No.	Indicador	Características	Peso relativo
1	pH	Acidez o basicidad.	0.10
2	Conductividad eléctrica	Contenido de sales solubles o salinidad.	0.10
3	Oxígeno disuelto % saturación(O <sub>2</sub> SAT)	Estado del cuerpo de agua con respecto a su contenido de oxígeno disuelto.	0.30
4	Demanda química de oxígeno,	Materia orgánica presente. .	0.25
5	Coliformes fecales	Densidad de bacterias fecales.	0.25
	Sumatoria		1.00

### ✓ **Pesos relativos**

Como se observa en la tabla 2, al pH y CE se le otorga una menor importancia y de ahí el peso relativo asignado. A la DQO y CF, se le asignan mayores pesos relativos como indicadores de la contaminación orgánica y bacteriológica. Al oxígeno disuelto se le da el mayor peso relativo dado su importancia en el estado sanitario del cuerpo de agua superficial.



El ODSAT, el % de OD presente con respecto a la saturación, refleja en mayor medida el estado cualitativo y de calidad del cuerpo receptor. Su ausencia o déficit,  $OD=0.00$ , se traduce en cuerpos receptores con aguas turbias, presencia de vegetación acuática, sólidos flotantes y malos olores, no aptas para los principales usos.

✓ **Escala de valores.**

El procedimiento para hallar las funciones matemáticas de relación entre el valor del ICAs y los indicadores es la confección de una tabla indicativa de la calidad y la utilización de un método de correlación lineal o de polinomios.

Hay que tener presente que el ICAs no es un valor constante sino que representa la calidad del agua en el momento de la toma de muestra, resulta evidente que variara en dependencia del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca, no es igual en época de seca (Noviembre a Abril) que en época de lluvia (Mayo a Octubre), al igual refleja el impacto de la contaminación de acuerdo a las cargas contaminantes impuestas en los momentos del muestreo considerando su transporte a lo largo del río principal y sus afluentes.

Si se tienen varios muestreos en estaciones de control de la calidad del agua se puede reflejar su comportamiento medio, siempre y cuando las mediciones se hayan efectuado de manera sistemática y consideren los periodos lluviosos y menos lluviosos.

#### **1.4- Macro-constituyentes.**

La llamada conductividad eléctrica (CE), o conductancia eléctrica específica, es uno de los parámetros físicos de mayor importancia en la química de las aguas naturales, es posiblemente el parámetro individual que mayor información nos aporte. Su medición es sencilla, rápida y exacta. Hoy en día en el mercado internacional, a costos asequibles, se pueden encontrar equipos medidores de la conductividad de muy alta resolución que incorporan la corrección de temperatura, miden la salinidad y en algunos casos son capaces de hacer mediciones

continuas. La conductividad eléctrica se expresa según nomenclatura del SI de unidades en micro Siemens por cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Los iones, tanto cationes como aniones, son partículas cargadas eléctricamente y son responsables de la conducción de una determinada corriente a través de una solución. Es evidente, que a una mayor presencia de estos iones, una mayor concentración, la corriente a través de la solución será mayor, y por ende mayor será la denominada conductividad.

Por lo tanto, la conductividad nos da una medida indirecta del contenido iónico de la solución, en este caso del agua natural, sabemos que este contenido iónico se puede interpretar como la salinidad del agua en cuestión, o como se le llama los sólidos disueltos totales (SDT).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que cada ion en cuestión tiene su propio aporte a la conductividad, en primer lugar según su concentración, esta relación no se puede considerar lineal. Los iones tienen diferentes cargas, radios iónicos, entre otras propiedades, no están solos y también interactúan entre ellos. Luego, la relación de la conductividad con el contenido de sales, expresado como sólidos disueltos totales (SDT) depende de varios factores, entre ellos, la presencia de los propios iones, sus propiedades y por supuesto la temperatura.

Se define la concentración iónica total como la suma de todas las especies catiónicas y aniónicas usualmente en unidades de mili equivalentes por litro, meq/l. El principio de electro neutralidad debe cumplirse, la suma de los meq/l de los cationes debe ser igual a las de los aniones. Es imposible obtener un análisis de agua que considere todas las especies iónicas presentes, pero considerando los iones aportados por los macro constituyentes se tiene una buena apreciación de este contenido iónico total y de los SDT.

La relación entre la CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . y los SDT en mg/l está comprendida en un rango entre 0.40 – 0.80 en dependencia de las contribuciones a la CE de los iones principales. Para las aguas superficiales cubanas el factor entre la CE y las SDT suele estar comprendido entre 0.60 – 0.80, el valor de 0.64 se toma como valor promedio. (Tabla # 3).

Tabla # 3. Especies iónicas principales que aportan conductividades específicas en las aguas naturales. Fuente: DPRH Santiago de Cuba

<b>Cationes</b>		<b>Definición</b>
	Ca <sup>+2</sup>	Calcio
	Mg <sup>+2</sup>	Magnesio
	Na <sup>+1</sup>	Sodio
	K <sup>+1</sup>	Potasio
<b>Aniones</b>		
	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Carbonato
	CO <sub>3</sub> H <sup>-1</sup>	Hidrógeno carbonato
	Cl <sup>-1</sup>	Cloro
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Sulfato

La CE es altamente dependiente de la temperatura. Se incrementa, de manera general 2% por cada aumento de 1 grado Celsius. La razón principal es el cambio de la viscosidad del agua, la cual decrece con el incremento de temperatura y por lo tanto la resistencia a la movilidad iónica disminuye. Esto, en otras palabras, significa que las mediciones de CE tienen que ir acompañadas de mediciones de temperatura.

En la práctica la CE se reporta con una temperatura de referencia de 25 grados Celsius. Hoy, prácticamente todos los medidores de CE poseen la función de llevar la CE a la temperatura de 25 grados Celsius, esto es muy importante. El factor de temperatura de la mayoría de los equipos viene fijado a 1.85% y se relaciona con el factor del CIK el cual es empleado para la calibración de la constante de celda.

#### **1.4.1 Aporte de la concentración iónica a la EC**

Para aguas naturales menores de 20 meq/l la contribución de cada especie iónica a la (EC). (Tabla# 4)

Tabla #4. Contribuciones en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) por especies iónicas.

		Contribución por meq/l	Contribución por mg/l
<b>Cationes</b>			
	$\text{Ca}^{+2}$	59.50	2.975
	$\text{Mg}^{+2}$	53.10	4.425
	$\text{Na}^{+1}$	50.10	2.178
	$\text{K}^{+1}$	73.50	1.884
<b>Aniones</b>			
	$\text{CO}_3^-$	69.30	2.310
	$\text{CO}_3\text{H}^{-1}$	45.43	0.745
	$\text{Cl}^{-1}$	76.35	2.151
	$\text{SO}_4^{-2}$	80.00	1.667

**Fuente:** DPRH Santiago de Cuba

En un medio geológico determinado la (EC) es respuesta de la concentración iónica de los macro-constituyentes.

Anteriormente vemos, cada especie iónica aporta según su concentración un valor de (EC) en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , estamos en la parte de proporcionalidad de la relación entre la (EC) y la concentración, ya que la fuerza iónica (F) es pequeña para un rango de concentración menor de 20 meq/l.

Lo anterior da lugar a definir la (EC) teórica a partir del análisis químico. Dicho de otra forma, se calcula en base a la contribución en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de cada especie, siendo la suma la (EC) teórica.

#### 1.4.2 Chequeo del análisis del laboratorio

Existen varios métodos para el chequeo de los análisis del laboratorio, todos dependen del principio de electro nulidad. Dicho de otra forma, los meq/l de los aniones deben ser iguales a los meq/l de los cationes, considerando que siempre habrá un error experimental, el cual aumenta al disminuir la concentración iónica.

✓ **Método del Logan:**

✓  $E_p$  (error permitido%) =  $(\sum \text{aniones} - \sum \text{cationes} / \sum \text{aniones} + \sum \text{cationes}) \times 100$

Los errores permitidos antes de rechazar la conformidad con el análisis de los macro constituyentes son:

**Tabla# 5.** Comprobación del análisis de agua por el método de Logan

$\Sigma$ de cationes o aniones en meq/l	<1	1	2	6	10	30	>30
Error permitido %	15	10	6	4	3	2	1

Nota: los errores se analizan en forma modular

✓ **Método de la (EC) teórica**

El método se basa en el cálculo de la (EC) teórica y compararla con la (EC) medida en el campo.

Los errores permitidos antes de rechazar la conformidad con el análisis de los macro constituyentes se calculan según:

$(1 - EC \text{ medida} / \text{la EC teórica})$  multiplicada por 100)

O sea el error se expresa en %

**Tabla# 6.** Comprobación del análisis de agua por el método de comparación de la (EC) medida en el campo y la teórica.

Conductividad $\mu\text{S/cm}$	50	200	500	2000	>2000
Error permitido %:	30	10	7	4	<4

Nota: los errores se analizan en forma modular

En caso que la concentración del agua en meq/l o la (EC) se encuentre dentro de un rango dado se debe interpolar linealmente tomar el rango menor o sea el más restrictivo.

## Capítulo 2: Características del área de estudio Mayarí– Santiago de Cuba:

### 2.1. Características generales de la cuenca del río Mayarí.

El territorio que se estudia pertenece al municipio Segundo Frente con una extensión de 541km<sup>2</sup>. El río Mayarí la corriente principal de este municipio con un área de 664 km<sup>2</sup> y una longitud de 50.5 km. Nace cerca de los altos de Miguel Labrada a una altura de 480 msnm en la provincia Santiago de Cuba. En su recorrido ocupa área de la provincia Holguín, limita al norte con la provincia de Holguín, limita al norte con el municipio Holguín, al Sur con el municipio Songo La Maya al este con Guantánamo y áreas de Holguín. Las coordenadas límites son 623.7 Este y 198.3 Norte.



**Figura #3** Red Hidrográfica de la cuenca del río Mayarí –Santiago de Cuba

La cuenca Mayarí es una de las 9 cuencas más importantes del país. El 31 de Julio de 1997, el General de Ejército Raúl Castro Ruz inaugura la Presa Mícara, la mayor del municipio Segundo Frente. Con capacidad para almacenar 4.41 millones de m<sup>3</sup> de agua este embalse abastece del preciado líquido a Mayarí Arriba, la cabecera municipal del Segundo Frente y otros asentamientos aledaños. La conductora de este embalse fue sometida a una rehabilitación que permite un mejor flujo de agua hacia todos los barrios.

Consumen sus aguas más de 15 mil habitantes, así como empresas, organismos, entidades, centros industriales, de estudio y de producción de este municipio. El tratamiento y distribución de las aguas de la presa Mícará inaugurada hace 22 años se hace de acuerdo con la política y estrategias establecidas en Cuba, bajo los preceptos de conservación de los recursos naturales.



**Figura.# 4.** Embalse Mícará

#### **Características climáticas de la cuenca:**

El área de la cuenca presenta un régimen que se diferencia con la media nacional y provincial, que está determinado por la posición que ocupa la misma con respecto al atlántico y a sus condiciones de relieve montañoso. La determinación anual de las precipitaciones evidencia la existencia de dos estaciones un periodo lluvioso de mayo a octubre siendo los meses más lluviosos mayo y septiembre, los cuales presentan precipitaciones promedio mensual de 275 y 214 mm respectivamente .La estación relativamente seca corresponde a los meses de noviembre a abril, los meses más secos son enero y diciembre con lluvias menores a los 100 mm y por encima de los 50mm .En esta zona las lluvias de verano son convectivas, en invierno son frontales provocadas por los frentes fríos.

### **Temperatura:**

La temperatura media anual es de 21.6 °C, las temperaturas bajas son producidas por el gradiente vertical (0.6°C/100m) en las áreas montañosas y por el paso de los frentes fríos. Los vientos predominantes en el área de estudio son los alisios del nordeste durante casi todo el año y la velocidad de los mismos oscila alrededor de los 13km/h. La humedad relativa del aire es de 84.1 % siendo esta superior a la media normal (80%), existiendo en cada subcuencas variaciones locales debido a la altitud, la exposición de las laderas.

### **Relieve:**

Esta cuenca se encuentra entre dos macizos montañosos. Sierra de Nipe y Sierra del Cristal, su relieve, condicionado tectónicamente, refleja las particularidades de la compleja estructura geológica obtenida como resultado de los movimientos comprensivos de la orogenia cubana y las adquiridas en la etapa neotectónica. Pueden encontrarse diferentes categorías geomorfológicas determinadas por las diversas amplitudes de los movimientos neotectónicos como son las montañas, las alturas y las llanuras. Las montañas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos.

### **Parámetros morfo métricos de la cuenca del rio Mayarí**

- Área de la cuenca: 770 km<sup>2</sup>
- Densidad de drenaje: 1.2 km/km<sup>2</sup>
- Gasto medio: 8.69m<sup>3</sup>/s
- Volumen(W): 274 millones/m<sup>3</sup>
- Lamina de escurrimiento medio: 356 mm
- Altura media: 313 msnm
- Pendiente media de la cuenca: 0.3%
- Longitud del cauce principal: 50.5 km
- Pendiente del rio: 4.7%





**Figura # 5 Rio Mayarí.**

### **2.1.1 Principales impactos ambientales en el área de la cuenca del rio Mayarí.**

- ✓ Disminución de la cobertura vegetal.
- ✓ Aumento de los procesos erosivos.
- ✓ Contaminación de las aguas del rio.
- ✓ Pérdida de la diversidad biológica.

Las causas fundamentales que han incidido en el deterioro de la cabecera del río se centran en la deforestación intensiva y la explotación minera irracional en el periodo neocolonial, violando leyes fundamentales como: Ley forestal, Ley de mina, Ley del agua, Ley del medio ambiente que establecen la prohibición de la explotación minera y la deforestación en las márgenes de los ríos sin tener en cuenta las franjas hidroreguladora, proporcionando la contaminación de las aguas y a su vez deteriorando los refugios de la flora y la fauna de la localidad.

#### Protección a la cuenca del rio Mayarí

El río Mayarí cuenta con todo para que sea un magnífico lugar que visitar. Sin embargo, gracias a la deforestación de sus alrededores ha tenido que enfrentar luchas constantes para recuperarse. Las autoridades han reunido energías y recursos monetarios para poder recuperar su entorno. Por ejemplo se construyó un dique de contención a fin de proteger al río de la salinización. La intención es clara, poder obtener de nuevo los valores ecológicos que deberían estar presentes en este río extenso. Asimismo el trabajo arduo de las autoridades permitió que el río siguiera siendo el refugio para las aves que suelen posarse allí. Se llegó a la determinación,

que no se podía esperar más tiempo para comenzar a trabajar en función de su recuperación. De esa manera, se lograría que todo el espacio fuera llamativo y más atractivo para los turistas.

### **2.1.2 Fuentes Contaminantes**

Los focos contaminantes no son más que los puntos ubicados aguas de bajos de donde son vertidas las aguas residuales procedentes de la actividad económica y social, que pueden contaminar los embalses y cuerpos de aguas terrestres y marítimas.

Los principales parámetros básicos considerados para el control de los focos contaminantes que afectan las cuencas hidrográficas son:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Oxígenos disueltos.
- Demanda Química de Oxígenos.
- Coliformes fecales.

Los focos contaminantes se clasifican en 6 categorías de acuerdo con sus incidencias sobre los recursos hidráulicos y el estado de su solución.

#### **Categoría 1**

Focos sin solución o con solución insuficientes que afecta gravemente, de manera comprobada, a fuente(s) de abasto a la población, ocasionando el deterioro de la calidad del agua y el incumplimiento de la norma sanitaria de calidad de las fuentes de abastos en uno de los aspectos siguientes: calidad bacteriológica, sustancias tóxicas, metales pesados, pesticidas.

#### **Categoría 2**

Focos sin solución o con solución insuficientes que afecta gravemente, de manera comprobada, ocasionando el deterioro de la calidad de un acuífero, embalse o corriente superficial, de manera que imposibilita el uso del agua o encarece el tratamiento que debe recibir ésta para su uso.

#### **Categoría 3**

Focos sin solución o con solución insuficientes que afecta gravemente, de manera comprobada, a la ecología y el medio ambiente, deteriorando la calidad del agua de

forma tal que se pierden valores de uso recreativo, estéticos o culturales, o se pone en peligro la vida de especies valiosas de la flora o la fauna.

#### **Categoría 4**

Focos con solución, pero con peligro potencial demostrado, de alto o moderado riesgo, de afectar fuentes de abasto a la población. Focos que necesitan de vigilancia e inspección sistemáticas.

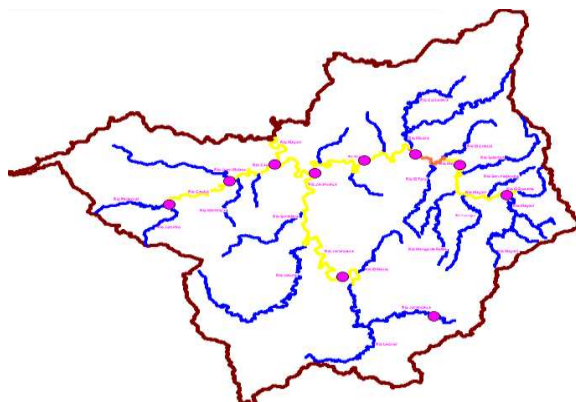
#### **Categorías 5**

Focos con solución, pero con peligro potencial demostrado, de alto o moderado riesgo, de afectar un acuífero, embalse o corriente superficial, de manera que imposibilita el uso del agua o encarece el tratamiento que debe recibir ésta para su uso del agua, o se afecte la ecología y el medio ambiente, deteriorando la calidad del agua en forma tal que se pierden valores de uso recreativos, estéticos o cultural, o se pone en peligro la vida de especies valiosas de la flora o la fauna nacionales. Focos que necesitan de vigilancias e inspección sistemáticas.

#### **Categoría 6**

Focos con solución o de escaso peligro. No necesitan una vigilancia e inspección sistemática, solamente ocasionales.

En la cuenca del río Mayarí- Santiago, existen 35 focos contaminantes que afectan a cada una de las fuentes de abastecimientos entre ellos se encuentra el porcino II Frente perteneciente al MININT, la fábrica de conservas de II Frente, el hospital de II Frente entre otros.



**Figura #6** Puntos de muestreo y cálculo del ICAs

### **Capítulo 3: Determinación del Índice de Calidad de las Aguas. (ICAs).**

El ICAs se determina por periodo: Seco y Húmedo para una selección de muestras aprobada por el INRH y este varía en dependencia del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca que anualmente se revisa y se pueden proponer incluir o quitar puntos de muestreo en dependencia de la situación real de las fuentes contaminantes.

El país trabaja en base a mejorar cada día la calidad de las aguas, es por ello que se toman todas las medidas para garantizar las determinaciones de los indicadores.

#### **3.1 Disponibilidad de información:**

Durante la búsqueda de la información de los indicadores que conforman el cálculo del ICA, se observa que esta base de datos data desde hace más de 4 años en los archivos de la DPRH.

Estos cálculos de ICAs, se ajustan al instrumento normativo de las descargas de residuales a los cuerpos receptores superficiales cubanos NC-27-2012, es la normativa cubana referente a los límites permisibles de parámetros seleccionados en los cuerpos receptores. Esta norma establece las especificaciones de los vertimientos de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado y se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo. A sus efectos, los cuerpos receptores se clasifican cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación

comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A).

Clase (C): Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista de su uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

### 3.1.1 Metodología de cálculo para el ICAs

El ICAs es la sumatoria de los pesos relativos de cada indicador multiplicado por el valor de calidad obtenido mediante cada función matemática de relación y responde a:

$$ICAsp = \sum_{1}^{5} W_i \times q_i$$

#### **Dónde:**

i: indicador de calidad, del 1 al 5.

$W_i$ : peso relativo de cada indicador

$q_i$ : valor en % obtenido de las funciones matemáticas de correlación

Para el cálculo de las contribuciones de calidad de cada indicador, así como para el cálculo del propio Índice, está disponible una hoja Excel (Plantilla 1) con sus especificaciones, la que puede ser empleada para facilitar las evaluaciones.

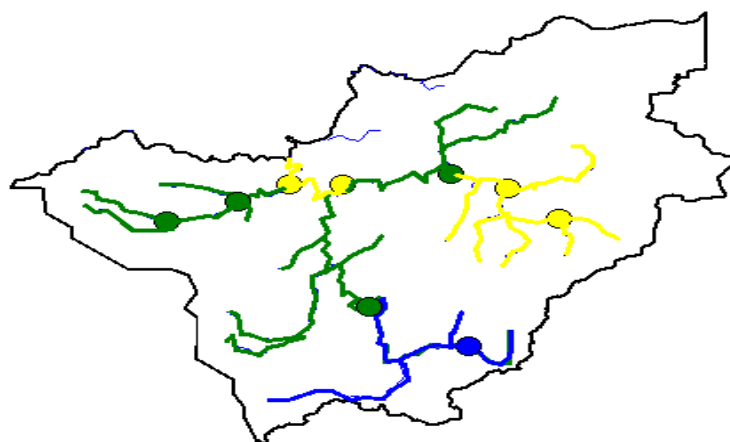
Aunque en términos matemáticos el ICAs puede ofrecer valores menores que 0 o mayores que 100 a partir del cálculo de las funciones de los indicadores, esos valores no tienen significación práctica y se toman como 0 a 100, según corresponda.

Hay que tener presente que el ICAs no es un valor constante, sino que representa la calidad del agua en el momento de la toma de muestra, resulta evidente que varía en dependencia del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca, no es igual en época de seca que en época de lluvia, al igual refleja el impacto de la contaminación de acuerdo a las cargas contaminantes impuestas en los momentos del muestreo considerando su transporte a lo largo del río principal y sus afluentes.

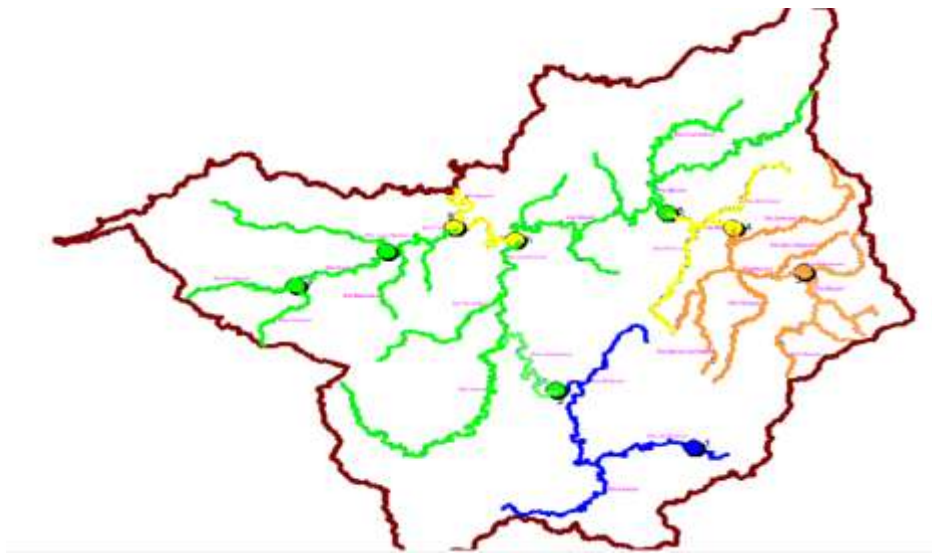
Si se tienen varios muestreos en estaciones de control de la calidad del agua se puede reflejar su comportamiento medio, siempre y cuando las mediciones se hayan efectuado de manera sistemática y consideren los periodos lluviosos y menos lluviosos.

**Tabla.#7:** Resultados del ICAs período 2016-2020

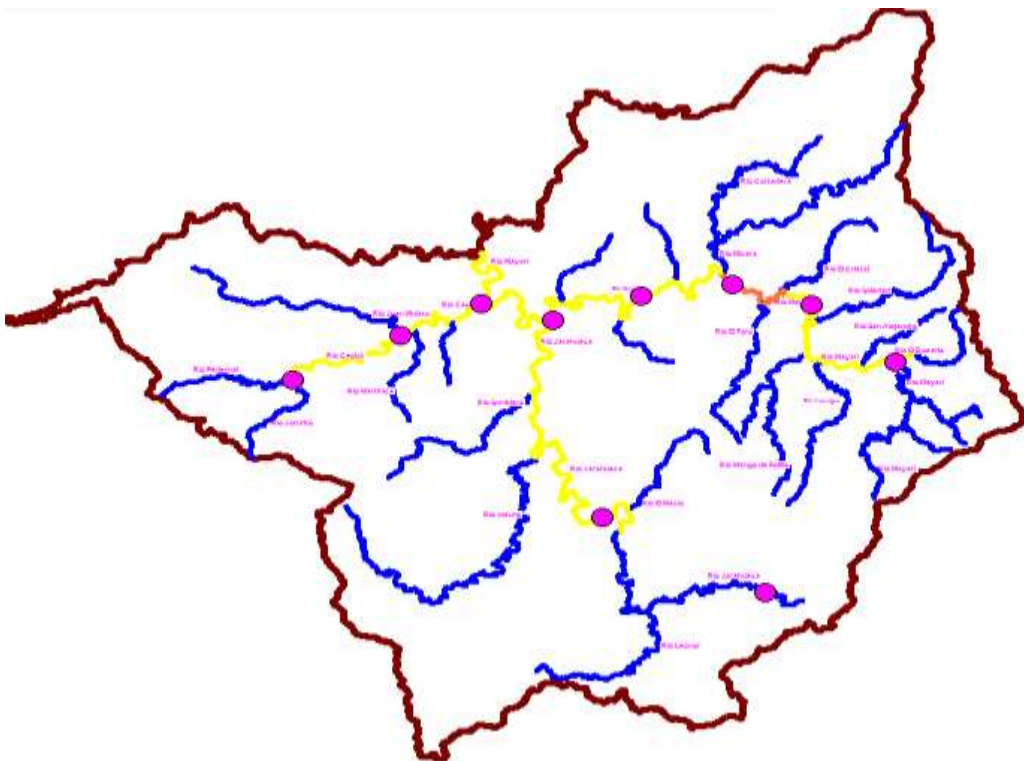
Año	Periodo seco	Periodo húmedo
2016	Medianamente contaminada(MC)	Medianamente contaminada(MC)
2017	Medianamente contaminada(MC)	Medianamente contaminada(MC)
2018	Medianamente contaminada(MC)	Aceptable
2019-2020	Medianamente contaminada(MC)	



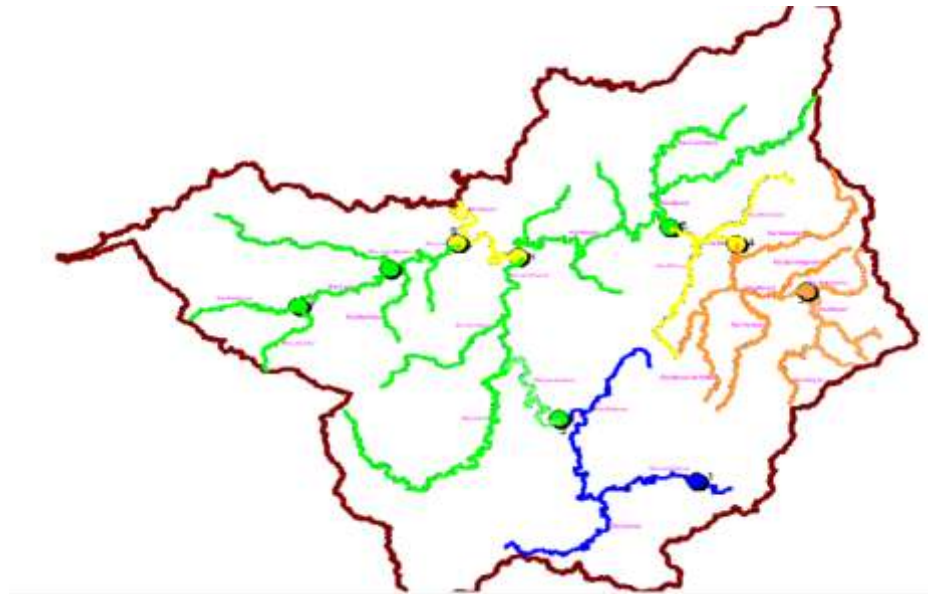
**Figura #7.** Resultado del ICAs para el periodo seco 2016



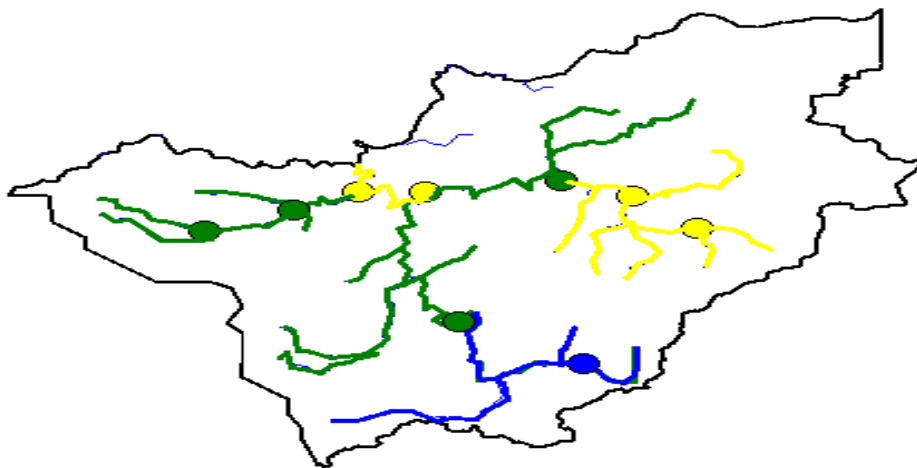
**Figura #8.** Resultado del ICAs para el periodo húmedo 2016



**Figura #9.** Resultado del ICAs para el periodo húmedo 2017

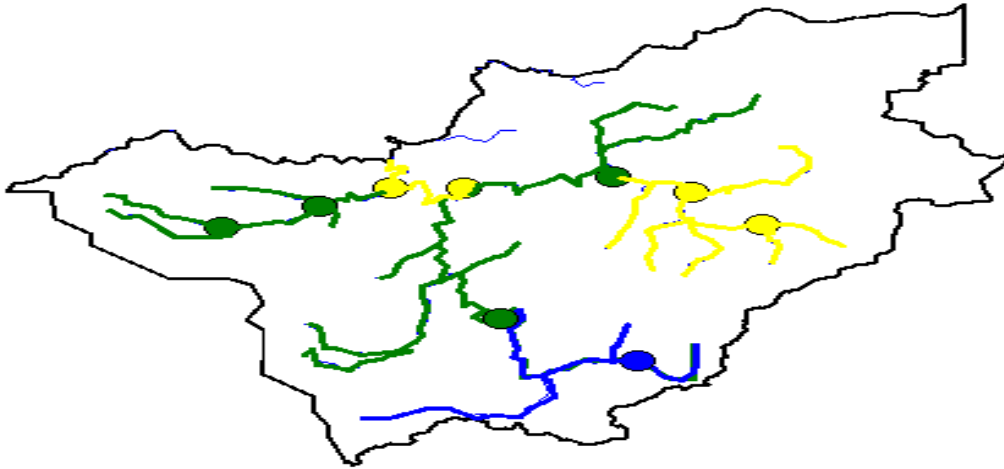


**Figura #10.** Resultado del ICAs para el periodo seco 2017.

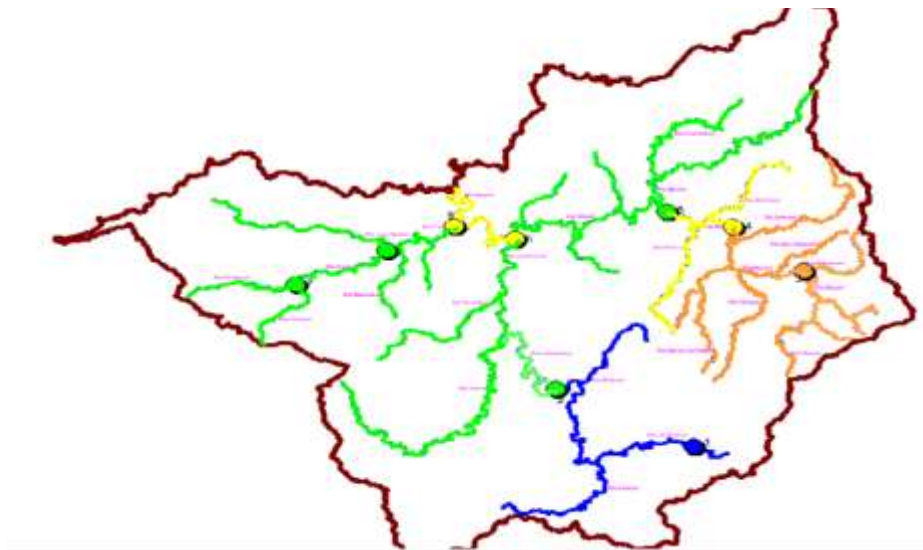


**Figura #11.** Resultado del ICAs para el periodo seco 2019.

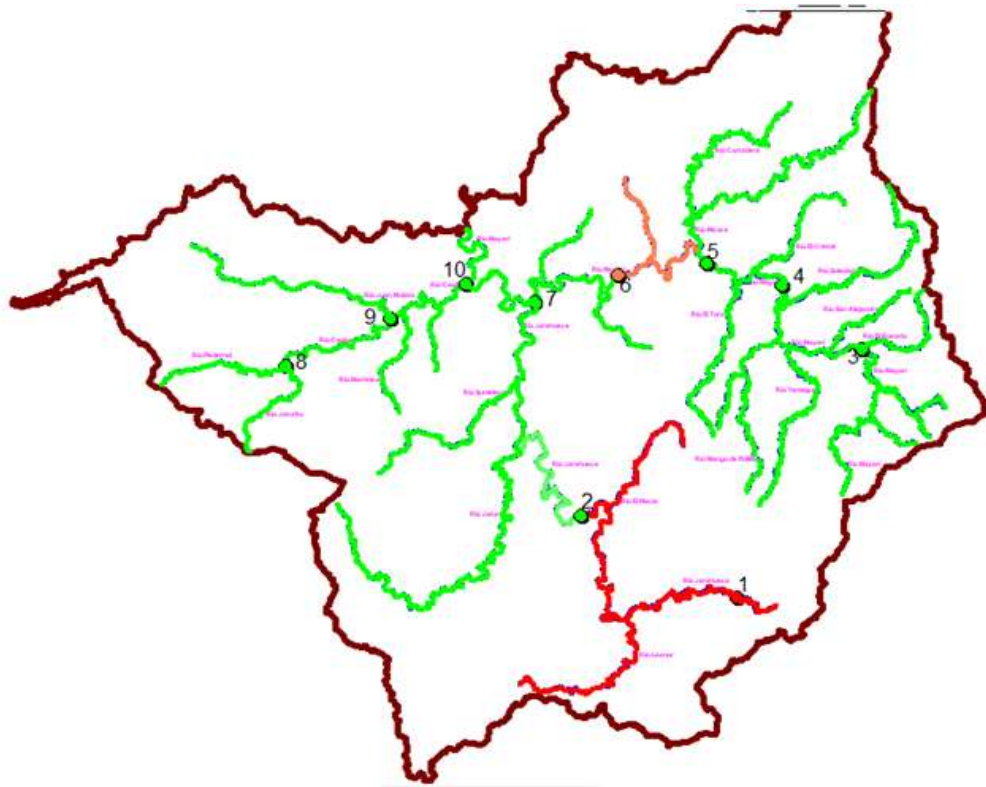




**Figura #12.**Resultado del ICAs para el periodo húmedo 2019



**Figura #13.**Resultado del ICAs para el periodo seco 2018



**Figura #14.** Resultado del ICAs para el periodo húmedo 2018

**Fuente:** Propia

Se puede asumir que las aguas de la Cuenca Mayarí-Santiago de Cuba, mayormente están medianamente contaminada por lo que se requiere de un chequeo de los objetivos económicos y población de esta área de estudio.

Al cursar de los años se han realizado monitoreo periódicamente a la cuenca Mayarí, arrojando resultados no tan satisfactorios para el periodo de 2016-2020. En esta cuenca se cuentan con 9 estaciones o puntos de muestreos categorizados y aprobados para este análisis por el INRH.

Según los resultados obtenidos se observa que en algunas estaciones hay un incremento de contaminación alcanzando una clasificación de **medianamente contaminada**, según estos se puede asumir que esos puntos han experimentado contaminación en sus aguas con el de cursar de los años. Todos los ríos que tributan

a esta cuenca, presentan una clasificación de sus aguas, mostrando una representación de la contaminación que hay en dicha cuenca.

Por todo lo planteado anteriormente se puede afirmar, como resultado principal de la investigación realizada, que en la cuenca Mayarí hay incremento en la contaminación de sus aguas.

## Conclusiones

1. Se realizó una búsqueda exhaustiva en libros, artículos, manuales de cálculos sobre los ICAs tanto en el ámbito nacional e internacional.
2. La calidad de las aguas de la cuenca Mayarí es medianamente contaminada.
3. Se determinaron los ICAs para el periodo del 2016-2020 con una plantilla en el Excel aprobada por el INRH.

## *Recomendaciones*

1. Realizar los cálculos de los macro-constituyentes a las estaciones ya existentes, que era objetivo de esta tesis para poder proponer nuevas estaciones de monitoreo. Ya que considero los puntos existentes no son suficientes.
2. Incrementar las estaciones de la Red Cal para evaluar el ICAs según los resultados de los macro-constituyentes.

## *Bibliografía*

1. Castro Mario, Almeida Juniel, Ferrer Julio, Díaz Dayssi: Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global.
2. Beltrán Torres Marlen, Carmenates Almaguer Yuri: Evaluación de las condiciones ambientales del río Pontezuelo, Mayarí- Holguín.
3. Samboni, Natalia E, Reyes T, Aldemar, Carvajal E, Yesid: Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta.
4. Gálvez Ordoñez Juan Julio: ¿Que es una cuenca hidrológica?
5. Rendón Quintero Luz A, Agudelo Edison A, Hernández Quintana Yamith, Gallo Cardona Santiago A, Osorio Arias Andrés F: Determinación de indicadores para la calidad del agua, sedimentos y suelos.
6. Lic. Joaquín B. Gutiérrez Díaz: Manual de cálculos: Índice de calidad de los recursos hídricos superficiales (ICAs 2014).
7. Internet: Obtenido de «[https://www ecured.cu/index.php?title=Río Mayarí\\_\(Holguín\)&oldid=3394945](https://www.ecured.cu/index.php?title=Río_Mayarí_(Holguín)&oldid=3394945)».
8. Torres Patricia, Cruz Hernán Camilo, Patiño Paola Janeth: Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.
9. Stella Maris FORMICA, Gabriela Andrea SACCHI, Verena Agustina CAMPODONICO2, Andrea Inés PASQUINI, Marcela Alejandra CIOCCALE1: Modelado de calidad de agua en ríos de montaña.
10. Cutiño Héctor Pastor: Trabajo de Diploma: Sistema de Gestión Ambiental para cuenca hidrográfica del río Mayarí.

# *Anexos*

## Anexos

**Tabla # 8** Resultados del ICAs para el periodo seco 2019-2020

No	Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
1	Rio Mayarí 7 (Rio Mayarí Arriba en el Catey)	80.94	A
2	Estación bombeo Loma Blanca	85.72	A
3	Rio Mayarí 3 (En la carretera al poblado El Rosario)	77.90	MC
4	Rio Mayarí 4 A la salida del rio Mayarí Arriba	74.45	MC
5	Rio Mayarí 5 Después de la incorporación del rio Jarahueca	76.96	MC
6	Rio Mayarí 6 (Después de la incorporación del rio La Caoba)	79.35	MC
7	Rio Jarahueca (En la carretera entre poblados Los Morgas y Loma Azul)	82.30	A
8	Rio Caoba (Unión ríos Pedernal y Joturito)	92.51	EX
9	Rio Caoba 1( Rio La Caoba después de la incorporación de Juan Mulato)	94.94	EX

Fuente: DPRH Santiago de Cuba



Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	65,5	(C)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	52,5	(AC)
Río Mayarí 3	87,13	(A)
Río Mayarí 4	88,63	(A)
Río Mayarí 5		(AC)
Río Mayarí 6		(AC)
Río Jarahueca		(AC)
Río Caoba		(AC)
Río Caoba 1		(AC)
	85,69	
<b>Promedio</b>	<b>85,69</b>	(MC)

Figura #15. Resultado del ICAs periodo húmedo 2016

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	77,26	(MC)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	82,38	(A)
Río Mayarí 3	77,30	(C)
Río Mayarí 4	82,20	(A)
Río Mayarí 5	71,33	(MC)
Río Mayarí 6	78,64	(MC)
Río Jarahueca	91,26	(Ex)
Río Caoba	81,01	(A)
Río Caoba 1	80,71	(A)
<b>Promedio</b>	<b>80,23</b>	(MC)

Figura #16 Resultado del ICAs periodo húmedo 2016

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	75,84	(MC)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	73,19	(MC)
Río Mayarí 3		(AC)
Río Mayarí 4	73,13	(MC)
Río Mayarí 5		(AC)
Río Mayarí 6	72,65	(MC)
Río Jarahueca	70,47	(MC)
Río Caoba	77,6	(MC)
Río Caoba 1	72,02	(MC)
	69,66	
<b>Promedio</b>	<b>73,56</b>	(MC)

Figura #17 Resultado del ICAs periodo húmedo 2017

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	77,26	(MC)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	82,38	(A)
Río Mayarí 3	60,29	(C)
Río Mayarí 4	82,20	(A)
Río Mayarí 5	71,33	(MC)
Río Mayarí 6	78,64	(MC)
Río Jarahueca	91,26	(E*)
Río Caoba	81,01	(A)
Río Caoba 1	80,71	(A)
<b>Promedio</b>	<b>78,34</b>	(MC)

Figura #18 Resultado del ICAs periodo seco 2017

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	82,28	(A)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	86,53	(A)
Río Mayarí 3	87,06	(A)
Río Mayarí 4	83,23	(A)
Río Mayarí 5	84,31	(A)
Río Mayarí 6	82,31	(A)
Río Jarahueca	59,87	(AC)
Río Caoba	84,95	(A)
Río Caoba 1	82,69	(A)
<b>Promedio</b>	<b>81,47</b>	(A)

Figura #19 Resultado del ICAs periodo húmedo 2018

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	76,20	(MC)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	82,38	(A)
Río Mayarí 3	60,29	(C)
Río Mayarí 4	82,20	(A)
Río Mayarí 5	71,33	(MC)
Río Mayarí 6	78,64	(MC)
Río Jarahueca	91,26	(Ex)
Río Caoba	80,30	(A)
Río Caoba 1	80,71	(A)
<b>Promedio</b>	<b>78,14</b>	(MC)

Figura #20 Resultado del ICAs periodo seco 2018

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	80,94	(A)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	85,72	(A)
Río Mayarí 3	77,90	(MC)
Río Mayarí 4	74,45	(MC)
Río Mayarí 5	76,96	(MC)
Río Mayarí 6	79,35	(MC)
Río Jarahueca	82,30	(A)
Río Caoba	92,51	(Ex)
Río Caoba 1	94,94	(Ex)
<b>Promedio</b>	<b>82,79</b>	(MC)

Figura #21 Resultado del ICAs periodo seco 2019

Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
Río Mayarí 7	80,94	(A)
Estacion Bombeo Loma Blanca. Río Jarahueca	85,72	(A)
Río Mayarí 3	77,90	(MC)
Río Mayarí 4	74,45	(MC)
Río Mayarí 5	76,96	(MC)
Río Mayarí 6	79,35	(MC)
Río Jarahueca	82,30	(A)
Río Caoba	92,51	(Ex)
Río Caoba 1	94,94	(Ex)
<b>Promedio</b>	<b>82,79</b>	(MC)

Figura #22 Resultado del ICAs periodo húmedo 2019