



*Índice de calidad de las aguas superficiales de  
la cuenca Cauto-Santiago de Cuba  
Tesis en opción al título de Ingeniero  
Hidráulico*

*Título: Índice de calidad de las aguas superficiales en la  
Cuenca Cauto-Santiago de Cuba*

*Diplomante: Nadieska Martínez La O  
Tutora: Ms C. Ing. María Teresa Durand*

*Santiago de Cuba, Junio 2019*

*Año 61 de la Revolución*

Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de  
Cuba

---

Pensamiento

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### Pensamiento

El hombre tiene que adaptarse a la naturaleza y tiene que usar la inteligencia para vencer los obstáculos de la naturaleza”

Fidel Castro Ruz.



Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de  
Cuba

---

Dedicatoria

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma:

A mis padres: Gabriel Martínez y Maritza La O por estar siempre a mi lado y por apoyarme en cada momento de mi vida. A los dos gracias por ser incondicionales y por formar parte de mi vida.

A mi hermana: Maritza Hernández La O que a pesar de siempre estar molestándonos las dos, siempre nos hemos queridos y amarnos siempre.

A mi abuelita: Catalina Martínez Faurez por estar presente en mi vida y cuidar de mí desde pequeña.

A mi padrastro: Cirilo Hernández Salazar por apoyarme en todo.

A mis tías(os): que siempre se han preocupado por mi formación.

A mis primas(os): Yaraisi, Yismaisi, Aneska, Yoendris, en general a todos ustedes que siempre estuvieron atentos y presente en mi paso de la Universidad.

A todos ustedes...

Muchas gracias....

Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de  
Cuba

---

Agradecimientos

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### Agradecimiento:

A todas las personas que de una u otra forma han sido parte en mi formación profesional en todos estos años de universidad.

A mis padres: Gabriel Martínez y Maritza La O le agradezco por creer en mí y darme todo el apoyo que muchas veces necesite, a mi hermana Maritza Hernández, mi padrastro Cirilo Hernández, a mi abuelita Catalina, a mis tías(os), mis primas(os), en fin a toda la familia en general que de una u otra forma aportaron un pequeño granito de arena en mi formación.

A una persona que es súper especial en mi vida Rafael Benavides Acosta por su inagotable paciencia, que ha estado a mi lado en momentos malos y buenos sin dejarme caer y siempre dándome y buscando las fuerzas que creía a veces no tener.

A mi tutora María Teresa Durand por estar siempre ahí cuando los necesité y por la confianza.

A todos los profesores del departamento de Ingeniería Hidráulica que formaron parte de mi formación profesional.

A mis amigos Yania, Antón, Raidel, Yelanis, Yoan, Yiliannys, Leydis, Leyanis y Sandra que me ofrecieron su amistad a pesar de todos mis defectos y siempre me ayudaron cuando los necesité.

A mis compañeros de aula en estos cinco años de complicidad y de lucha continua.

Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de  
Cuba

---

# Resumen

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### 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. El ICAs tiene como objetivo evaluar la calidad de las aguas en las cuencas hidrográficas a partir de los programas de monitoreo vigentes. Donde sus indicadores deben reflejar aquellos problemas causados por la actividad económica y ambiental que producen un mayor impacto negativo en la calidad de los recursos y sus usos. Por la importancia de la cuenca Cauto, se evalúa el ICAs a partir del año 2011 -2019 con nuevas plantillas que permiten evaluar el comportamiento promedio y no individual como se realizaba, agregando el análisis de los macroconstituyentes que permita analizar la posibilidad de aumentar los puntos de muestreos en la Red Cal.

# Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

## **Abstract:**

An ICAs is an algorithm that expresses, a measure of the qualitative status assessment of water quality. It is a simplified expression of a complex combination of different factors, whose success in its application depends on its reliability and the amount of information, really summarized and usable, that it offers. The objective of the ICAs is to evaluate the quality of the waters in the watersheds based on the current monitoring programs. Where its indicators should reflect those problems caused by economic and environmental activity that produce a greater negative impact on the quality of resources and their uses. Due to the importance of the Cauto basin, the ICAs is evaluated from 2011-2019 with new templates that allow evaluating the average and not individual behavior as it was done, adding the analysis of the macro-constituents that allows analyzing the possibility of increasing more points of samples in the Red Cal,

Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de  
Cuba

---

Índice

# Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Búsqueda Bibliográfica .....	6
1.1- Generalidades sobre cuencas Hidrográficas .....	6
1.2-Índice de Calidad de las Aguas Superficial (ICAs).....	8
1.2.1-Objetivo del ICAs .....	11
1.2.2- Ventajas del ICAs .....	12
1.2.3- Metodología general de diseño de los ICAs .....	12
1.2.4-Generalidades de variables utilizadas en la evolución de calidad de las aguas:.....	13
1.2.5- Clasificación de la calidad del agua del cuerpo receptor .....	15
1.3-Historia sobre el cálculo del ICAs .....	16
1.3.1-Índice de calidad de agua superficial (ICAs) desarrollados y aplicados en Cuba .....	20
1.4-Macroconstituyentes .....	24
1.4.1- Aporte de la concentración iónica a la EC .....	25
1.4.2-Chequeo del análisis del laboratorio.....	26
Capítulo 2: Características del área de estudio Cauto – Santiago de Cuba:.....	28
2.1- Generalidades de la cuenca Cauto.....	28
2.2 Características de la cuenca Cauto – Santiago de Cuba.....	29
2.3-Fuentes Contaminantes.....	33
Capítulo 3: Cálculo del ICAs.....	36
3.1- Disponibilidad de información: .....	36
3.2- Cálculo del ICAs .....	37
3.2Macroconstituyente .....	41
Conclusiones.....	44
Recomendaciones.....	45
Bibliografía: .....	46
Anexo: .....	49

---

## **Introducción**

Desde épocas remotas los ríos han constituido fuente de riqueza, al proporcionar el agua imprescindible para la subsistencia y posterior desarrollo de las poblaciones humanas, propiciando la fertilidad de los suelos para la obtención de alimentos y facilitando la comunicación entre los pueblos.

Sin embargo, las aguas de los ríos experimentan un deterioro en su calidad principalmente debido a su uso como receptor de los vertimientos generados en los centros poblados, las zonas industriales, las actividades agropecuarias y escorrentías.

La caracterización de la calidad del agua de un río implica la determinación del grado, el nivel o la intensidad de la contaminación que posee, la cual puede ser de origen físico, químico o biológico, y la capacidad del sistema de restituir de manera natural las propiedades o condiciones que poseía antes de ser afectado por el agente contaminante.

La calidad del agua es un factor importante a tener en cuenta a la hora de valorar el desarrollo sostenible de una determinada zona. En los últimos años, el creciente interés por su adecuada medición se ha puesto de manifiesto en diversos estudios (Beamonte et al., 2004, 2005, 2007 y 2010; Prat y Munné, 2000; Sánchez et al., 2007; Villalba et al., 1995). Asimismo, la consideración de los aspectos económicos relacionados con el agua y su calidad, también ha conducido a la realización de un gran número de investigaciones (Barberán et al., 2008; Barreiro y Pérez, 2006; Bergstrom et al., 2001; González, 2005; Júdez et al., 2001; Otto y Holtkamp, 1999; Pérez et al., 2010; Ribaudó, 2003; Sevilla et al., 2010; Steinnes, 1992).

En fin, el agua es fundamental para todos los organismos vivos, de allí la importancia de conservarla y darle un adecuado manejo; sin embargo, el crecimiento exponencial de la población ha incrementado de forma directa su demanda en el planeta, pese a que su oferta se ve disminuida cada vez más, producto de actividades que incrementan su contaminación. Hoy en día la calidad

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

del agua es un tema que adquiere más relevancia, no obstante, la humanidad continúa explotándola y contaminándola insosteniblemente.

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 el caso de las aguas terrestres (superficiales y subterráneas) el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y los Consejos de Cuencas Hidrográficas, junto a otros gestores de las cuencas, han mantenido a lo largo del tiempo, redes de seguimiento de la calidad y cantidad de las aguas, que han registrado continuas ampliaciones y mejoras. Los datos acumulados por estas redes atesoran una valiosa información del estado de las aguas subterráneas y algunas de las corrientes superficiales de mayor interés, los cuales han permitido construir series temporales y modelos que orientan sobre su evolución y por ende su explotación y conservación. Además de esta información básica, existen otros datos muy valiosos procedentes de estudios y proyectos de investigación específicos, que recogen dispersa y parcialmente el estado de la biota.

En las dos últimas décadas a nivel mundial, con el objetivo de abordar esta problemática, 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 por 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 hidromorfológica, físico-química y biológica de estas. Una ventaja de esta metodología es que los grupos de organismos que proponen analizar (especialmente los macroinvertebrados) integran muchos más parámetros que los exclusivamente fisicoquímicos, y presentan un efecto «memoria» que

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

registra los cambios históricos, que se producen en los ecosistemas acuáticos (Sánchez 2010).

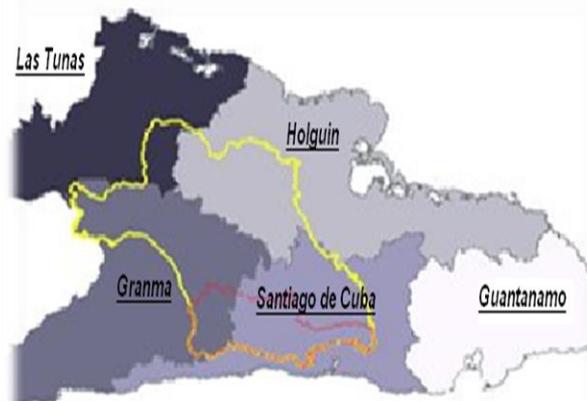
La cuenca del río Cauto es la mayor de las llanuras fluviales y fluviomarinas del archipiélago cubano. Tiene una población cercana al millón de personas, las tierras que conforman la cuenca del Cauto están destinadas a actividades agrícolas, ganaderas y urbanizaciones, todas con incidencias más o menos graves sobre la corriente del río. (Fig.2)

En ella existen 652 focos contaminantes, de ellos se han identificado 140 como los más agresivos y problemáticos, ocasionados por residuales de los centrales azucareros, despulpadoras de café, otras industrias y residuales domésticos. Su carga contaminante estimada es de 99,89 ton DBO5/día, equivalente a una población de 2 378 332 habitantes, lo que representa el 203% de su población actual.

De acuerdo con estudios sobre la cuenca, aunque la situación ambiental en esta región es compleja, la actividad económica es la que mayormente incide en su contaminación.



**Fig.1:** Tramo del río de la Cuenca Cauto



**Fig. 2:** Cuenca Cauto

Esta cuenca es una de las más modificadas del país ya que a partir de 1899, (Borrero.), se produjo una intensa modificación del paisaje, manteniendo las

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

condiciones naturales una pequeña sección en las zonas más elevadas de la Sierra Maestra y en las cercanías de las costas.

Esta acción antrópica unida a la indebida atención a las medidas anti erosivas en las partes altas, han provocado la erosión de los suelos, fenómeno que afecta la calidad de las aguas interiores y las obras hidráulicas, el aumento de la población, así como la actividad económica, destacando el desarrollo de la actividad porcina, requieren una atención especial y permanente de la contaminación.

En estudio realizado por el INRH arrojó como resultados que:

- Las aguas del río Cauto han incrementado significativamente la conductividad eléctrica, las sales solubles totales, el calcio, el magnesio y sobre todo los cloruros y el sodio a partir de la ciudad de Palma Soriano.
- En el río Contramaestre las sales solubles totales de sus aguas no son altas, aunque se han presentado valores máximos de 703 mg/l.
- Los restantes parámetros analizados en los afluentes del Cauto indican que la calidad de sus aguas es superior al de las aguas de este último.

Dada la importancia que tiene la calidad del agua es que se propone el siguiente Diseño de la Investigación:

### **Problema de investigación:**

La contaminación de las aguas superficiales de la Cuenca hidrográfica Cauto-Santiago de Cuba, provocados por las empresas de AZCUBA, residuos domésticos, grandes centros porcinos y alto crecimiento de esta actividad, industriales y otros, lo que afecta el desarrollo de las actividades humanas en esta área geográfica.

**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 Cauto-Santiago de Cuba.

### **Objetivos Específicos:**

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

- Realizar una revisión y análisis bibliográfico de los índices de calidad de las aguas (ICAs) superficiales.
- Caracterizar la cuenca hidrográfica Cauto-Santiago de Cuba.
- Calcular los ICAs en la cuenca hidrográfica Cauto-Santiago de Cuba.
- Análisis de los macroconstituyentes (4 estaciones)

### **Campo de Acción:**

Índice de calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Cauto.

### **Hipótesis**

Si se logra determinar los índices de calidad de las aguas de la Cuenca Cauto-Santiago de Cuba, se podrá mitigar la contaminación provocada por las empresas de AZCUBA, residuos domésticos, alto crecimiento de la actividad porcina, industriales y otros, que afecta el desarrollo de las actividades humanas en esta área geográfica.

## **Capítulo 1: Búsqueda Bibliográfica**

Toda investigación inicia por una búsqueda bibliográfica que permita la ampliación del conocimiento y actualización del tema en estudio, según Londoño, et al., (2014), una de las primeras etapas que debe desarrollarse dentro de una investigación es la construcción de su estado del arte, pues permite determinar la forma cómo ha sido tratado el tema, cómo se encuentra el avance de su conocimiento en el momento de realizar una investigación, y cuáles son las tendencias existentes en ese momento cronológico para el desarrollo de la temática o problemática que se va a tratar.

### **1.1- Generalidades sobre cuencas Hidrográficas**

Valderrama Plata, 1985 plantea una cuenca hidrográfica es el área físico-geográfica delimitada por divisorias topográfica 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.

Una cuenca hidrográfica es aquella que toda área drenada por una corriente o por un sistema de corrientes cuyas aguas concurren a punto de salida, es decir, es el área q contribuye al escurrimiento y que proporciona todo o parte del flujo de la corriente principal y sus afluentes (Fundora 1989).

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).

En la actualidad el concepto de cuenca hidrográfica abarca más allá de sus límites naturales y sus características biofísicas, agregándole las diferentes relaciones que se generan entre los recursos naturales y los habitantes de la cuenca, que cambian de una cuenca a otra por las condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales particulares de cada una (Aguilar, 2007).

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

Los componentes biofísicos, biológicos y antropológicos que interrelacionan dentro de la cuenca deben estar en equilibrio, ya que al afectarse uno de ellos pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna, 1997)

Es así que una cuenca es una fuente natural de captación de agua, con una realidad social propia establecida por las relaciones económicas, culturales, sociales y políticas que se establecen entre los diferentes grupos sociales (Aguilar, 2007). Transformándose en un sistema en el que interactúan sus componentes en el tiempo y el espacio, siendo el recurso hídrico el eje integrador (Gonzales, et. al., 2013). En la cuenca se denota el desarrollo histórico de las poblaciones, intereses y hábitos, que definen la forma como se organiza el territorio y las diferentes prácticas productivas que se realizan (Aguilar, 2007).

Por lo tanto, las cuencas hidrográficas deben ser tratadas como unidades de planificación ordenamiento territorial y gestión, para el manejo de los recursos naturales, ya que la conservación de estos recursos no está circunscrita a límites geográficos o políticos, sino más bien al accionar y características sociales, culturales y económicas de la población asentada dentro de la cuenca y el deterioro ambiental que generan sus prácticas de producción (Gaspari, et. al., 2010).



Figura 3: Cuenca Hidrográfica

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

El desarrollo sostenible de una región pasa por el cuidado y conservación de los recursos naturales, en los cuales el agua juega un rol fundamental al ser insustituible por otras sustancias. La sostenibilidad del agua tiene dos componentes fundamentales: disponibilidad y calidad. Ambos están íntimamente relacionados pues si la calidad es deficiente, implica que habrá un decrecimiento en la disponibilidad, al igual que la abundancia de agua sin los requerimientos necesarios, incluye déficit del recurso hídrico.

Es común que la evaluación de la calidad, se realice a partir de un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas, dando como resultado grados de aptitud que solo son interpretables por especialistas en la materia. Sin embargo, por la importancia que tiene la calidad de las aguas para toda la sociedad, es necesario que los resultados se expresen de manera comprensible por profesionales y público en general. (Samboni *et al.*, 2007).

Una manera de contribuir a la mejor interpretación y entendimiento de los datos de monitoreo de las aguas, es a través del uso de índices de calidad, que surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. También, se definen, como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

Se reconocen diferentes procedimientos para evaluar la calidad del agua. Éstos pueden ir desde brindar el valor independiente de las diferentes propiedades del agua, hasta la definición de expresiones en las que se combinan algunas de las propiedades, según un interés predeterminado.

Con estas expresiones, se puede reducir la naturaleza multivariada de los análisis sobre calidad de agua a un valor único, y conocer rápidamente cual es el “estado de salud” del sistema monitoreado.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Una manera de hacerlo es calcular un índice que combine matemáticamente a todas las medidas de calidad de agua, y de esta manera provea una descripción general y fácilmente entendible de un cuerpo contaminado y reflejar la condición global del mismo (Fernández y Solano 2005).

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.

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 ( $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$ ), fósforo en forma de ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), 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.

Posteriormente han sido desarrollado otros, que de una manera u otra tienen similares fundamentos y sustentación a los considerados en el ICA-NSF.

García *et al.* (1981) definieron para Cuba un ICA para aguas superficiales en cuencas hidrográficas, seleccionando nueve parámetros como indicadores de la calidad del agua.

Posteriormente, el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (Gutiérrez y García 2014), simplificó el ICA de nueve parámetros por otro de cinco, en el que no son considerados los cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), y turbidez.

De esta manera se le da mayor importancia que con anterioridad, a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y CF (minúscula), al asignarles mayores pesos relativos como indicadores de la contaminación orgánica y biológica.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Por otra parte, al OD se le da el mayor peso relativo dado su importancia en el estado sanitario de los cuerpos superficiales.

Por su naturaleza los índices pueden ser: psicoquímicos, biológicos hidromorfológicos; combinan diversas variables (aniones, cationes, pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, coliformes fecales y totales, disponibilidad de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, metales pesados, contenidos de nitrógeno y fósforo, algas, peces, macro-invertebrados, caudales ambientales, continuidad fluvial, entre otros.) y proporcionan una valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente.

El ICAs ya explicado anteriormente, representa un rango de valores de muestreos instantáneos en dos tiempos distintos, uno que se le llama periodo seco producto de un muestreo, otro que se le denomina periodo lluvioso obtenido en los meses en que se espera el mayor caudal.

Para una estación de monitoreo tomar estos dos valores y hallar el promedio es incorrecto, pues es poco probable que se estaría representando el valor medio en el año hidrológico.

Para todas las estaciones de monitoreo en la cuenca, hallar el ICAs en los dos periodos y calcular el promedio para adjudicarlo a la cuenca, es también incorrecto. Note que, en este caso, valores del ICAs en tramos quizás cortos estarían dando un peso específico muy alto, dicho de otra manera, para la cuenca hay que conocer el comportamiento del ICAs referido a distancias en relación al río principal.

Lo mejor para una estación de monitoreo, es una aproximación, es tomar los peores valores de los dos muestreos.

Para la cuenca, lo recomendado es hacer un diagrama lineal de cabecera a estuario y tomar los peores valores de los dos muestreos del ICAs en el año, calcular los tramos comprendidos entre las estaciones de acuerdo a la clasificación de agua obtenida. Calcular la distancia total y las distancias entre

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

estaciones, hallara los % por categoría de calidad, si puede elaborar una tabla y también un gráfico. No se recomienda generalizar ni promediar el ICAs para la cuenca, este proceder nos da la visión correcta.

Si las estaciones de monitoreo están mal ubicadas en la cuenca y no responden a los problemas de contaminación (tramo a tramo y cercanas a las fuentes contaminantes) es difícil que los resultados sean los esperados.

Note que si una estación tiene un ICAs de 60 este valor se arrastra hasta la próxima estación, si la distancia es poca puede ser correcto si es alta no es correcto.

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. El ICAs debe considerar indicadores que sean factibles de medir y que estén dentro de la rutina analítica de los laboratorios de agua del país, ante todo del sistema del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), órgano rector de las aguas terrestres. Debe también estar estructurado tomando en consideración los instrumentos regulatorios vigentes. Su estructura debe ser de fácil cálculo y aplicación práctica, por lo se ha escogido el método deductivo para su obtención.

### **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.
- Relaciona, de acuerdo a su estructura, su valor con determinados usos del agua.
- 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 normativas 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).

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

- Selección del tipo de ICAs 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.

### **1.2.4-Generalidades de variables utilizadas en la evolución de calidad de las aguas:**

#### ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO).**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo (IDEAM, 2007). Durante la determinación de la DQO, la materia orgánica se convierte en dióxido de carbono y agua, sin importar que tan asimilable biológicamente sea la sustancia, por ejemplo, la glucosa y la lignina son oxidadas completamente. Como resultado, los valores de la DQO son mayores que los de la DBO<sub>5</sub> y la diferencia puede ser mucho mayor cuando se presentan cantidades significativas de materia orgánica resistente o refractaria, como ocurre en el caso de los desechos de pulpa de madera, a causa de su alto contenido en lignina (Roldan y Ramírez, 2008).

#### ✓ **Oxígeno Disuelto (OD).**

El oxígeno constituye uno de los elementos de mayor importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración definen el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, y

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

por ende establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas (Ramírez y Viña, 1998).

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.

El pH indica la concentración de hidrogeniones ( $H^+$ ) en el agua. La medición del pH es uno de las actividades más importantes y de mayor frecuencia en las pruebas químicas del agua. El rango de pH para aguas naturales oscila entre 4 y 9 y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos. El pH del agua pura a 25°C es de 7, neutro (Invemar, 2003).

Las variaciones del pH conducen a cambios en el carbono presente. Así: en el rango de 4,5 a 8 se reduce el  $CO_2$  e incrementan los bicarbonatos, en pH mayores a 8 descienden los bicarbonatos y aumentan los carbonatos (Ramírez y Viña, 1998).

En medios oligotróficos el carbono tiende a mantenerse como bicarbonato, pero en sistemas eutróficos la reacción puede dirigirse a los extremos, produciendo cambios drásticos en el pH en el ciclo día-noche: durante el día el dióxido de carbono presente en el agua es consumido al incorporarse a los organismos autótrofos en el proceso de fotosíntesis, lo que conduce a incrementos en el pH que a su vez determinan aumento en las concentraciones de bicarbonatos y carbonatos, este proceso se invierte en la noche (Ramírez y Viña, 1998).

### ✓ Conductividad eléctrica (CE).

Según Sierra-Ramírez (2011), la conductividad es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, siendo una medida indirecta de los sólidos

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

disueltos, en general se puede decir que las aguas que tienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas.

Los valores habituales de conductividad son menores de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en aguas de bajo contenido iónico y desde 500 hasta 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para las fuertemente mineralizadas (Roldan y Ramírez, 2008).

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

Mientras que la presencia de unos pocos microorganismos no patógenos en el agua puede ser tolerable, la presencia de organismos indicadores específicos puede indicar que esa agua puede estar contaminada con patógenos; estos, están generalmente asociados con el tracto intestinal; su presencia indica contaminación fecal, y de ellos, los coliformes son los más ampliamente utilizados como indicadores (Madigan *et al.*, 2003).

Los coliformes fecales son contaminantes comunes del tracto intestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente; están presentes en el tracto intestinal en grandes proporciones, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. En la inactivación de los coliformes fecales se deben tener en cuenta factores ambientales como, la humedad, temperatura, luz ultravioleta, pH, ya que estos microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable y al no obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen más susceptibles a la inactivación (Fuccz-Gamboa, 2007).

### **1.2.5- Clasificación de la calidad del agua del cuerpo receptor**

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).

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

**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

Como conclusión general se puede citar que 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-Historia sobre el cálculo del ICAs

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para la regulación del recurso hídrico en el mundo ya que ésta considera criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia,

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

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.

En sus inicios pretendían medir la carga contaminante generada por los compuestos de origen orgánico, esto se debe al tipo de contaminación que se presentaba en los años 60 y 70. Los índices han evolucionado y se han convertido en una herramienta significativa para determinar la calidad de los recursos hídricos; por ello en la actualidad existen una gran variedad de metodologías para su cálculo y con propósitos que varían desde generales hasta específicos.

Se consideran como documentos pioneros en el tema los publicados por Horton 1965 y Brown 1970. Estos autores trabajaron los ICAs para estimar condiciones de contaminación en los sistemas acuáticos y lograron generar una metodología unificada para su cálculo. Utilizaron un modelo deductivo en la construcción de los ICAs.

En 1975, en Estados Unidos, la National Sanitary Foundation, (NSF), propuso un ICAs con el objetivo de evaluar las características que deben presentar las fuentes de captación de agua con destino al consumo humano. Este ICAs ha sido ampliamente utilizado, no solamente en el país de origen y ha servido de referencia para muchos ICAs desarrollados posteriormente. El ICA-NSF utilizó la metodología propuesta por Brown y es un ICA de tipo deductivo.

Queralt, 1982 desarrolló un Índice simplificado de calidad del agua (IsCA) para las cuencas de Cataluña en España Este ICAs cuenta con 5 parámetros fisicoquímicos y clasifica las aguas para 6 usos diferentes, siendo de tipo deductivo.

Dinius, 1987, en Estados Unidos, desarrolló un ICAs siguiendo la metodología del NSF conformado por 12 parámetros fisicoquímicos y biológicos, clasificando el agua para los usos de: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación. Este ICA es de tipo deductivo.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Rojas 1991 adaptó el ICA-NSF a las condiciones de río Cauca, Colombia, reduciendo el número de parámetros de acuerdo a un análisis del comportamiento en tiempo y espacio de los principales indicadores de calidad, de igual forma transformó los pesos relativos del ICA-NSF a las condiciones del cuerpo de agua estudiado. Este ICAs fue posteriormente adaptado para el tramo Salvajina-La Virginia del propio río Cauca por la Universidad del Valle, (Universidad del Valle 2007), considerando la línea base de calidad del cuerpo de agua, se denominó ICACAUCA. Estos ICAs son de tipo deductivo.

Bhaven, Macwan y Soni 1996 en la India, desarrollaron un ICAs para lagos considerando 10 parámetros. La clasificación de la calidad del agua fue: excelente, buena, pobre, muy pobre y no utilizable para el consumo humano. Este ICAs es de tipo deductivo.

Montoya y Contreras 1997, desarrollaron un ICAs para el Estado de Jalisco, México, seleccionando 18 parámetros fisicoquímicos y biológicos agrupados en 4 categorías, definiendo la clasificación de calidad para 9 usos diferentes, destacando el abastecimiento público. Este ICAs es de tipo deductivo.

En Canadá el “Canadian Council of Ministers of the Environment” (CCME), en 2001 desarrolló un ICAs orientado a evaluar la calidad ecológica de las aguas. En este mismo contexto se citan los trabajos siguientes: CCME 2001, Khan Husain y Lumb 2003 y Lumb, Halliwell y Sharma 2006. Estos ICAs son de tipo deductivo.

En Brasil, la “Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental”, (CETESB), desarrolló e implementó un ICAs, (CETESB 2006), con miras a evaluar la calidad del agua cruda para el abastecimiento público (IAP) como respuesta al aumento de los contaminantes vertidos a los cuerpos receptores y su relación con los riesgos al agua de consumo humano. Su estructura es similar al ICA-NSF y considera el índice de sustancias tóxicas ISTO. Este ICAs es de tipo deductivo.

Liou *et al.* 2004 presentó un ICAs para Taiwán basado en 13 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, orientado a evaluar la presencia de materia

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

orgánica, microorganismos fecales, material particulado y sustancias tóxicas en las aguas. Este ICA es de tipo deductivo.

UNEP 2007 presentó la primera versión de un ICA de carácter global para la calidad del agua de consumo humano "Drinking Water Quality Index", (DWQI), aplicable a las fuentes de abasto para el agua potable. Su estructura de cálculo es similar al ICA-NSF y toma en cuenta las guías para el agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Este ICA es de tipo deductivo.

Boyacioglu 2007 desarrolló para la Unión Europea (UE) un ICA que se considera de carácter universal (ICA-UWQI), el cual posee 11 parámetros fisicoquímicos y 1 de carácter microbiológico. Su objetivo es evaluar las fuentes de abasto superficiales que se destinan al consumo humano, en su estructura considera las directrices del UE destinadas a las aguas a ser destinadas al consumo humano previo tratamiento. Este ICA es de tipo deductivo.

Gonzaga, Calvaho y Lollo 2010 en Brasil, en el municipio de Mato Grosso, propusieron un ICA con 10 parámetros y 5 clasificaciones de calidad. El ICA se aplica a la cuenca hidrográfica del Municipio de Tres Lagos al Este de Mato Grosso. Este ICA es de tipo deductivo.

Otros de los índices para medir la calidad de aguas superficiales es el "índice holandés de Valoración de la calidad para los cuerpos de agua superficiales". Se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con varios parámetros analizados: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), el oxígeno disuelto (OD) y el nitrógeno amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) (Calvo-Brenes G., 2013).

Guillén et al. (2012), indican que los índices de calidad de agua (ICA) manifiestan 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 que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

### **1.3.1-Índice de calidad de agua superficial (ICAs) desarrollados y aplicados en Cuba**

La obtención y aplicación de índices de calidad de las aguas (ICAs) en Cuba ha sido de gran utilidad desde la década de los años 70. Han sido empleados con efectividad como instrumentos para evaluar integralmente el estado cualitativo de los recursos hidráulicos a escala nacional, territorial, zonal y local, así como en cuencas y subcuencas hidrográficas y acuíferos subterráneos. A continuación, se citan aquellos ICA 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 6 rangos, donde se empleó la metodología propuesta por Brown. Este ICAs considera dos factores que multiplican la ecuación general de cálculo,  $F_1$  y  $F_2$ , relacionándose estos con los metales pesados y los valores de las relaciones hidroquímicas restrictivas. En su estructura de cálculo utiliza gráficos entre el valor promedio y la concentración del parámetro.

Gutiérrez, García y Beato 1979 propusieron un ICAs para las aguas subterráneas con simplificaciones al ICAs de González y Gutiérrez 1974, seleccionando 6 indicadores fisicoquímicos, 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  $DBO_5$  o DQO y  $NO_3^-$  o  $NH_4^+$  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 ICAs es de tipo deductivo.

García y Gutiérrez 1982 propusieron un ICAs de carácter nacional para las aguas subterráneas en acuíferos cársicos cubanos, seleccionando 4 indicadores fisicoquímicos y uno bacteriológico. A diferencia de los anteriores este ICAs incluye la DQO. En su estructura de cálculo utiliza funciones matemáticas continuas entre el valor promedio y la concentración del parámetro. Utiliza 5 rangos de clasificación de la calidad. Este ICAs es de tipo deductivo.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

García, Beato y Gutiérrez 1983 desarrollaron un ICAs para aguas superficiales cubanas. 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 ICAs 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 ICAs es de tipo deductivo.

García y Gutiérrez 1988 propusieron dos nuevos ICAs para evaluar la calidad de las aguas subterráneas en acuíferos cársicos cubanos: uno de tipo deductivo y otro de tipo inductivo. Los parámetros seleccionados fueron: CE,  $\text{NO}_3^-$ , CF y DQO al permanganato. Utiliza 5 rangos de clasificación de la calidad.

En 1992 García y Gutiérrez llevaron a cabo una revisión de los ICAs 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 especialistas 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.

Varios autores han definido el concepto del Índice de Calidad de las aguas superficiales en este trabajo se expresa varias definiciones y se considera utilizar la definición de García y Gutiérrez, en el 2015 como la más completa.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

Este índice desarrollado por estos autores, es para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas, es de tipo deductivo, a continuación, se describe su estructura.

### ➤ **Indicadores**

El indicador se calcula a partir de los datos de concentración de un conjunto de cinco variables que determinan, en gran parte, la calidad de las aguas corrientes superficiales, pueden verse en la tabla a continuación: (Tabla 2)

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. 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 %	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

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### ➤ **Pesos relativos**

Como se observa (Tabla 2), al pH y CE se le otorga una menor importancia relativa 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 biológica. Al oxígeno disuelto se le da el mayor peso relativo dado su importancia en el estado sanitario del cuerpo superficial.

El ODSAT refleja en mayor medida el estado cualitativo y de calidad del cuerpo receptor. Su ausencia o déficit 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.

Es importante considerar que los índices de calidad del agua son herramienta funcional en la planificación de las cuencas hidrográficas en materia de calidad; pueden ser utilizados en la clasificación de áreas y usos del agua, en el desarrollo sustentable, en la política y gestión ambiental, en el manejo del recurso y en el desarrollo de la investigación científica.

Sin embargo, el paulatino deterioro de los ríos por la descarga de todo tipo de residuos naturales y antrópicos, sin contemplar que su capacidad para asimilarlos es limitada, ha provocado que los aspectos antes mencionados no sean suficientes para evaluar la calidad de la fuente. La mayoría de los nuevos contaminantes son sustancias químicas catalogadas por la comunidad científica como tóxicos, presentes generalmente en pequeñas concentraciones y con efectos acumulativos negativos en la salud de las especies a largo plazo. Esta toxicidad crónica de las fuentes limita sus usos, como la conservación del ecosistema, el riego agrícola, etc., pero sin duda el más afectado, es el abastecimiento público.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

A la luz de las nuevas investigaciones, los índices de la calidad del agua se van modificando, en el reconocimiento de la necesidad de incluir el aspecto toxicológico como requisito indispensable en las fuentes destinadas a consumo humano. Los parámetros seleccionados para tal fin, dependerán de los usos del suelo predominantes en la zona de estudio.

El ICAs permite un análisis de la tendencia de la calidad, por lo que puede ser empleado como una herramienta de información pública y para el manejo del recurso; no obstante, no tiene la capacidad de mostrar efectos acumulativos que provocan los tóxicos en el tiempo, ni sus efectos antagónicos y sinérgicos sobre las comunidades biológicas existentes en los cuerpos acuáticos.

### **1.4-Macroconstituyentes**

La llamada conductividad eléctrica (EC), 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 aporta. Su medición es sencilla, rápida y exacta, se expresa según la nomenclatura del SI en unidades de micro Siemens por cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

La misma, nos da una medida indirecta del contenido iónico de la solución, en este caso del agua natural, este contenido iónico se puede interpretar como una medida indirecta de la salinidad del agua en cuestión, o como se le llama las sales soluble totales (SST). Las (SST) usualmente se definen como la suma de las concentraciones de los iones de mayor peso relativos en un agua dada. (Tabla 3)

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, habrá una mayor concentración, y la corriente a través de la solución será mayor, y por ende mayor será la denominada conductividad.

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 se puede considerar lineal cuando la concentración sea menor de 20 meq/l, a altas

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

concentraciones la relación no es 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 sales solubles totales (SST) 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 de un agua como la suma de todas las especies catiónicas y aniónicas usualmente en unidades de meq/l. El principio de electroneutralidad 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 mayores (macroconstituyentes) tenemos una buena apreciación de este contenido iónico total y de las (SST).

**Tabla 3. Especies iónicas principales que aportan conductividades específicas en las aguas naturales**

Cationes		Definición
	Ca <sup>+2</sup>	Calcio
	Mg <sup>+2</sup>	Magnesio
	Na <sup>+1</sup>	Sodio
	K <sup>+1</sup>	Potasio
Aniones		
	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

Fuente: DPRH Santiago de Cuba

### 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)

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

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

		Contribución por meq/l	Contribución por mg/l
Cationes			
	$\text{Ca}^{+2}$	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
Aniones			
	$\text{CO}_3^-$	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 macroconstituyentes.

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 electroneutralidad. 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.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

- ✓ **Método del Logan:**
- ✓ **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.

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

### 2.1- Generalidades de la cuenca Cauto

La cuenca hidrográfica del río Cauto es la más grande del país con una extensión de 9540 Km<sup>2</sup> un perímetro de 541 Km, la longitud del cauce principal es de 343,3 Km, con pendiente media suavizada del río de 0.40%, el ancho medio de la cuenca es de 26 Km, con pendiente media de 6.8%, una altura media de 160 m sobre el nivel del mar y una densidad de drenaje de 0.7Km/Km<sup>2</sup> (Batista, 2004).

Esta cuenca presenta un límite natural, expresado en el relieve por el parteaguas principal de la misma. El origen, se localiza en la Sierra Maestra en la cercanía de La Estrella, se desplaza de sur hacia a norte y luego de este a oeste, ubicada entre los 20 y 21 grados de latitud Norte y los 75 y 77 grados de longitud Oeste, al terminar en el Golfo de Guacanayabo, se originan extensos pantanos y un delta a modo de Pico que avanza lentamente hacia el oeste, es la Marisma de Birama, el segundo humedal más grande de Cuba y del Caribe. Limita al norte con las provincias Las Tunas y Holguín, al oeste con la provincia Granma, al este con parte de la provincia Holguín y Santiago de Cuba y al sur con las estribaciones de la Sierra Maestra de Santiago de Cuba (Figura 4).



**Fig.4:** Ubicación de la Cuenca Hidrográfica del Río Cauto

Desde el punto de vista estructural la cuenca se desarrolló sobre la depresión de tipo graben-sinclinal del Cauto-Guacanayabo (Hernández J.R. 1989); que forma

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

parte del bloque-graben Cauto-Nipe (Iturralde, 1997). La región está formada en su mayor parte por una llanura fluvio marina cuyos rasgos morfo estructurales están relacionados con la etapa de desarrollo plata fórmico y la formación de la cobertura neo autóctona (Iturralde, 1997).

La orientación general de la corriente principal es de este a oeste, donde los afluentes de la margen sur nacen en la Sierra Maestra, en alturas mayores de 1000 m. y corren en dirección norte, y los afluentes de la margen opuesta (norte) nacen en el parteaguas que divide a la vertiente del Atlántico de la del Caribe a una altura de más de 200 m y corren en dirección sur.

Existen 19 embalses construidos con un volumen de 1.329.75 hm<sup>3</sup> y una entrega garantizada de 1.218,9 hm<sup>3</sup>, destacándose los Río Cauto (Gilbert, Gota Blanca, Protesta de Baraguá, Cauto el Paso. Río Contramaestre (Carlos M. Céspedes). Río Bayamo (Corojo). Río Cautillo (Cautillo). Se construyeron 68 micropresas con un volumen de embalse de 62,19 hm<sup>3</sup> y una entrega de 58,38 hm<sup>3</sup>. Los principales tributarios Contramaestre (960 km<sup>2</sup>), Bayamo (638 km<sup>2</sup>), Salado (2.664 km<sup>2</sup>), Guaninicún (640 km<sup>2</sup>), Cautillo (648 km<sup>2</sup>).

### 2.2 Características de la cuenca Cauto – Santiago de Cuba

El área de la cuenca del río Cauto en la provincia Santiago de Cuba es de 3017 Km<sup>2</sup> y 113 Km de longitud (Figura 5), ocupando 7 municipios de la provincia (Figura 6): Santiago de Cuba, Songo la Maya, Mella, Contramaestre, San Luis, Palma Soriano y III Frente

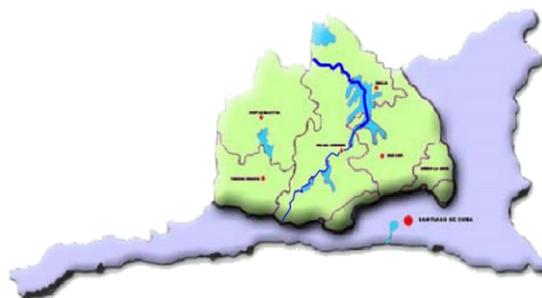


Fig. 5. Cuenca Cauto – Santiago de Cuba

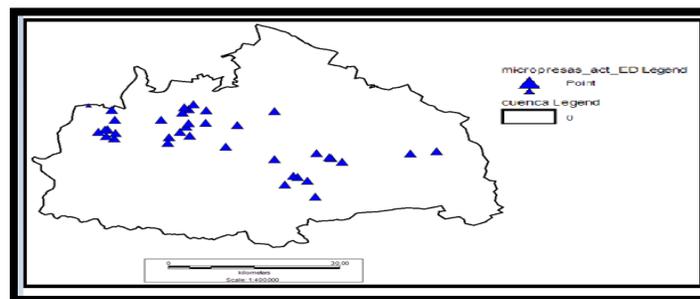
## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba



**Fig.6:** Municipios de la cuenca Cauto en Santiago de Cuba

El río Cauto nace en las estribaciones de la Sierra Maestra, específicamente en la Loma La Estrella, a una altura de 840 m aproximadamente, en el municipio Palma Soriano, la principal fuente de alimentación es la precipitación y en menor grado aporte subterráneo

Esta cuenca es de gran importancia en la provincia, tiene 6 embalses: Gilbert, Charco Mono, Gota Blanca, Baraguá, Hatillo y Carlos Manuel de Céspedes, los que abastecen a la población y al desarrollo industrial y agricultura permitiendo un amplio desarrollo en la sociedad existiendo varios sistemas de riego, posee una red fluvial amplia. Existen varios micropresas que mayormente benefician a la agricultura (Figura 7).



**Fig.7:** Micropresa de la cuenca Cauto

# Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

## Clima

El clima oscila con temperaturas medias mínimas entre 14 y 20 C° en la parte alta, disminuyendo hacia la desembocadura llegando a 36C° en los meses más calurosos, a nivel nacional en Veguita se registran los valores máximos.

## Temperaturas

En la cuenca Cauto- Santiago de Cuba la temperatura media anual oscila entre los 26 y 28 grados Celsius, disminuyendo gradualmente a medida que asciende en altura hasta alcanzar valores entre los 21 y 114 grados Celsius en la región de los picos.

La cuenca Cauto juega un rol insustituible en estos tiempos porque garantiza el agua para el abasto a 6 cabeceras municipales de la provincia: Santiago de Cuba, Palma Soriano, Contramaestre, Cruce de los Baños, J. A. Mella y San Luís. En ella se encuentran los mayores embalses más importantes: C. M. de Céspedes, Protesta de Baraguá, Gota Blanca, Gilbert, Charco Mono y Hatillo.

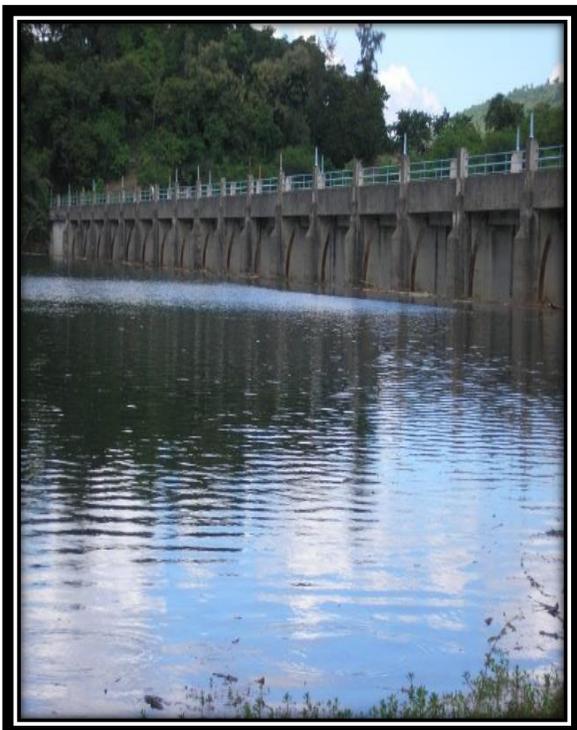


Fig.8 Embalse Charco Mono

En la década del 30 del siglo XX, la crisis permanente de la población de Santiago de Cuba por el agua requirió una acción para resolver este problema, que tomaba un carácter angustioso. Se comenzó de ese modo la construcción, de la presa Charco Mono (98.20Km<sup>2</sup>), con capacidad total de 4.55 Hm<sup>3</sup>, útil de 4,135 Hm<sup>3</sup> y muerto de 0.42 Hm<sup>3</sup>sobre el río Cañas. Se terminó en 1936 y fue, hasta ese momento, la mayor ejecutada en Cuba, garantizando una entrega de 7,2 Hm<sup>3</sup>. (Fig.8)

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Tiempo después, aprovechando las aguas superficiales del río Cauto, el embalse Gilbert (Fig.9), el primero realizado por la Revolución y concebido para resolver el padecimiento de falta de agua de los santiagueros, se empezó a ejecutar en 1967 con una capacidad máxima y útil de  $76.40 \text{ Hm}^3$  y  $54.67 \text{ Hm}^3$  respectivamente. Este embalse, comprende un área de  $144 \text{ Km}^2$  y tiene un volumen muerto de  $5 \text{ Hm}^3$ , garantizando una entrega  $11.5 \text{ Hm}^3$ , entregando  $40.80 \text{ Hm}^3$ .



**Fig.9:** Embalse Gilbert

A partir de él se emprendieron grandes obras hidrotécnicas en todo el país, y en especial en la provincia. Fue así como surgió el embalse Gota Blanca terminada en 1993, con un volumen máximo ( $115.800 \text{ Hm}^3$ ), total ( $83.6 \text{ Hm}^3$ ) y muerto de  $5 \text{ Hm}^3$ . Con el propósito de Abastecimiento y la Agricultura. (Fig.10)



**Fig.10:** Embalse Gota Blanca

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

A raíz del ciclón Flora, teniendo en cuenta los severos daños ocasionados por las intensas precipitaciones, el gobierno revolucionario decide impulsar la voluntad hidráulica con la construcción entre los años 1964 y el 1967, la presa Carlos Manuel de Céspedes (Fig.11) con un área de cuenca 433 Km<sup>2</sup>, con una capacidad total de 243 Hm<sup>3</sup>, un volumen útil de 213 Hm<sup>3</sup> y un volumen muerto de 30 Hm<sup>3</sup>. Siendo la primera presa grande, terminada en la Revolución y que inauguró Ruz, con el fin de Abastecimiento/Agricultura.

En 1980 se termina la construcción del embalse Baraguá (inicialmente se llamó Presa Canasta) con una capacidad de 250.0 Hm<sup>3</sup> destinado fundamentalmente al agricultura, con un área de cuenca 1712 Km<sup>2</sup>, con un volumen útil de 209 Hm<sup>3</sup> y muerto de 41 Hm<sup>3</sup>, con entrega garantizada de 31.0 Hm<sup>3</sup>. (Figura 11)



Fig.11: Embalses Carlos Manuel de Céspedes y Baraguá

### 2.3-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.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

- 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.

### **Categorías 1**

Focos sin solución o con solución un suficientes 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.

### **Categorías 2**

Focos sin solución o con solución un suficientes 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 un suficientes 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 cultural, 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

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

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 necesita una vigilancia e inspección sistemáticas, solamente ocasionales.

En la cuenca del río Cauto - Santiago, existen 243 focos contaminantes. (Fig.12) que afecta a cada una de las fuentes de abastecimientos entre ellos se encuentra el Asentamiento Abisinia, Campo Rico, El Reposo, Porcino Palmarito de Cauto, Porcino UEB Yarayabo entre otros.

Con el fin de mejorar la salubridad de esas aguas se han montado 12 despulpadoras ecológicas en toda el área de la cuenca, a la vez que se rehabilitaron diferentes sistemas de tratamientos como una planta procesadora de residuales que elimina la contaminación del vital líquido, consumido por unos nueve mil habitantes. La disminución en un 4,4 por ciento de la carga contaminante orgánica durante el año 2018.

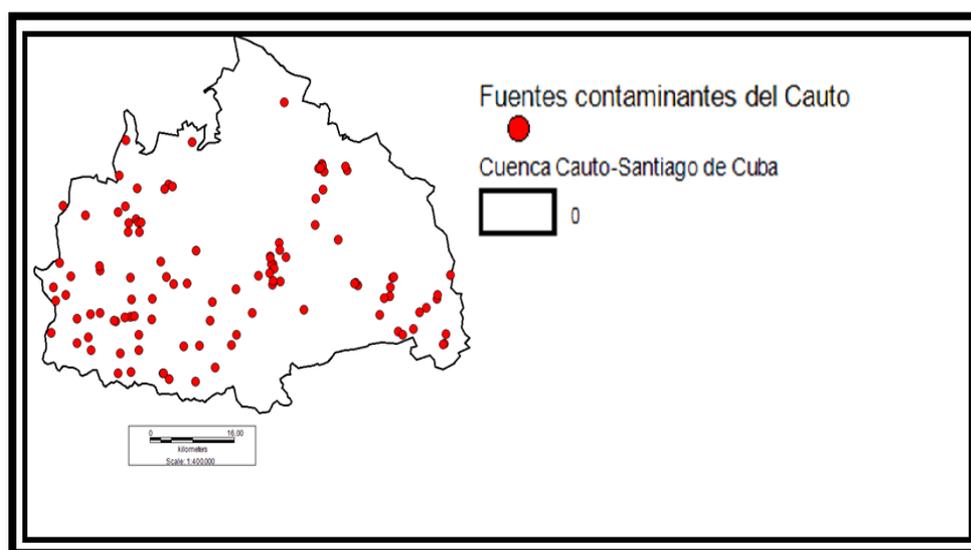


Fig.12: Fuentes contaminantes en el cauto

### **Capítulo 3: Cálculo del ICAs**

El ICAs se determina por periodo: Seco y Húmedo para una selección de muestras aprobada por el INRH y 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 el 2011 en los archivos de la DPRH. Existen evidencias de que estos análisis se realizan desde el año 2000 porque para las aprobaciones de fuentes de abastos, muchos de estos parámetros constan en los informes.

Antes del 2015 se monitoreaban las muestras y se analizaban de forma individual. Es en este año donde se elabora una plantilla de cálculo para todo el país por indicaciones del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, más tarde en el 2018, con la evolución del ICAs y estudios realizados por varios autores, mejora esta plantilla, donde se adicionan parámetros como la temperatura del agua en el momento de la muestra y la altura de la estación, al final cuando se calcula se obtiene un valor promedio, con ese valor se valora la calidad del agua a una escala o rango que nos da el ICA.

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

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

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

### 3.2- Cálculo del 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:

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

Dónde:

i: indicador de calidad, del 1 al 5.

W<sub>i</sub>: peso relativo de cada indicador

q<sub>i</sub>: valor en % obtenido de las funciones matemáticas de correlación

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

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.

En la tabla 10 se observa la calidad de agua en términos generales, en el período seco 2015-2017 el agua esta medianamente contaminada, ya en el 2017-2019 el agua está contaminada, por ser el período menos lluvioso.

En la época lluviosa (periodo húmedo), en el año 2015-2016 se observa que el agua está contaminada, en los años 2017-2019, se observa la calidad de agua aceptable (Tabla.10).

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

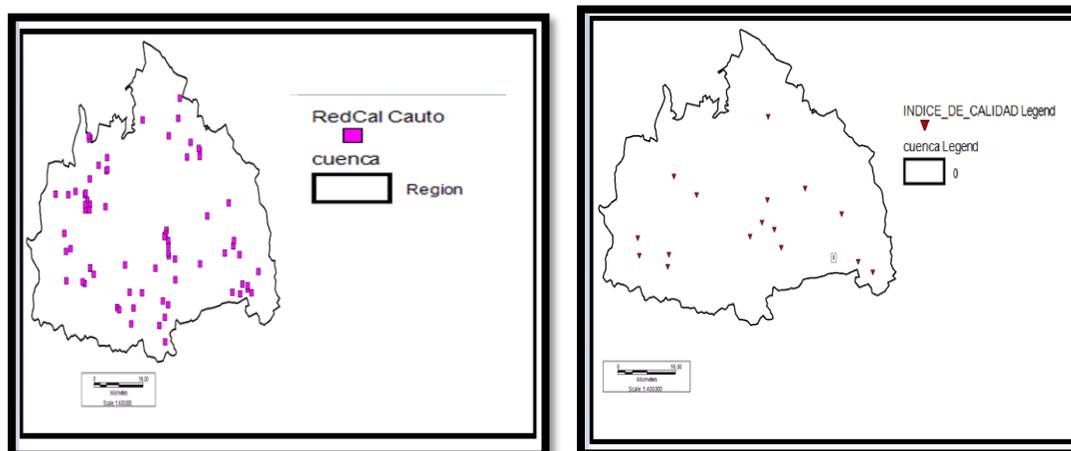
Tabla. 10: **Resultados del ICAs período 2015 -2019**

Año	Periodo Seco (PS)	Periodo húmedo(PH)
2018-2019	Contaminada(C)	Aceptable (A)
2017-2018	Contaminada(C)	Aceptable (A)
2016-2017	Mediamente Contaminada(MC)	Mediamente Contaminada (MC)
2015-2016	Mediamente Contaminada (MC)	Contaminada(C)

**Fuente:** Propia

Se puede asumir que las aguas de la Cuenca Cauto-Santiago de Cuba, mayormente están mediamente contaminada (tabla10), por lo que se requiere de un chequeo de los objetivos económicos y población de esta área de estudio

En esta cuenca se cuentan con 16 estaciones o puntos de muestreos categorizados y aprobados para este análisis por el INRH que se muestran en la figura 13.



**Fig.13:** Estaciones donde se realiza el ICAs

Los resultados del ICAs por la plantilla última orientada por el Consejo Nacional de Cuenca Hidrográfica (CNCH) se muestran en el Anexo 1 y a continuación se muestra un ejemplo correspondiente al periodo seco 2018-2019.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

Según los resultados arrojados se observa que en algunas estaciones hay un incremento de contaminación alcanzando una clasificación de altamente contaminada, según estos se puede asumir que esos puntos han experimentado una alta contaminación en sus aguas con el de cursar de los años. Todos estos ríos que tributan a esta cuenca, presentan una clasificación de sus aguas, mostrando un panorama de la contaminación que hay en ella. Por todo lo planteado anteriormente se puede afirmar, como resultado principal de la investigación realizada, que la cuenca Cauto hay incremento en la contaminación de sus aguas en comparación con los resultados obtenidos en años anteriores en el periodo seco, poniendo en peligro inminente una de las principales fuentes de abasto de agua de la ciudad de Santiago de Cuba, así como toda el área.

**Tabla.11:** Resultados del ICAs período seco 2018-2019

No	Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
1	Embalse Gota Blanca	56.87	(AC)
2	Embalse Hatillo	58.92	(AC)
3	Río Mogote 2	75.11	(MC)
4	Río Contraamaestre 4	73.77	(MC)
5	Río Guaninao 1	72.02	(MC)
6	Río Guaninicún 3	54.08	(AC)
7	Río Guaninicún 1	27.30	(AC)
8	Río Guaninicún 2	77.75	(MC)
9	Río Cauto 2	30.68	(AC)
10	Río Yarayabo 1	56.18	(AC)
11	Río Yarayabo	73.66	(MC)
12	Entrega Embalse Carlos M. de Céspedes.	84.62	(A)
13	Río Contraamaestre 3	78.36	(MC)
14	Río Mogote 1	74.84	(MC)
15	Río Guaninicún	30.29	(AC)
16	Entrega Embalse P. de Baraguá	71.94	(MC)
19	<b>Promedio</b>	<b>62.27</b>	( C)

Fuente: DPRH Santiago de Cuba

# Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

## 3.2 Macroconstituyente

Los macroconstituyentes es la comprobación de los análisis químicos. Por orientación del Órgano del Consejo Nacional de Cuenca Hidrográfica (OCNCH) se indica realizar inicialmente este análisis a 4 estaciones de monitoreo que son: Acueducto Baire, Los Negros, Manantial Paso Seco y el Embalse Baraguá. Para estos análisis se emplearon dos métodos: el de Logan y el de Conductividad teórica.

Se aplicó una plantilla en Excel realizada por el Dr. Joaquín Gutiérrez donde viene explicito los cálculos por los métodos mencionados anteriormente.

Como resultado se obtuvo que ambos métodos las estaciones de monitoreo de Acueducto Manantial Seco y Acueducto los Negros se eliminan 2 muestra, en Presa de Baraguá 3 y Acueducto Baire 1.

La relación entre las sales solubles totales (SST) y la (EC) tiene la siguiente expresión:

$$SST = k \times EC$$

Se toma el valor de 25 grados Celsius. Las (SST) se expresan en mg/l y la (EC) en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

El valor del factor de correlación (k) varía en dependencia de los iones presentes. El valor de (k) para las aguas naturales, ya sean superficiales o subterráneas, varía entre los límites de 0.50 – 0.90.

Frecuentemente se toma el valor de (k) en 0.64, como promedio para aguas no salinas, el cual ha sido recomendado en diferentes publicaciones internacionales.

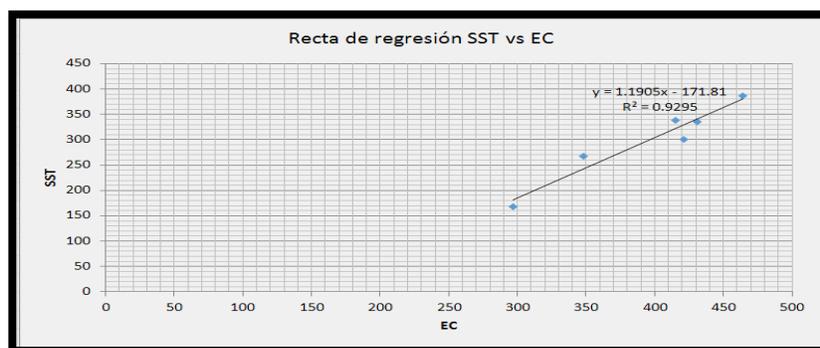


Fig14: Gráfico de regresión de SST vs EC de Acueducto Baire

# Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

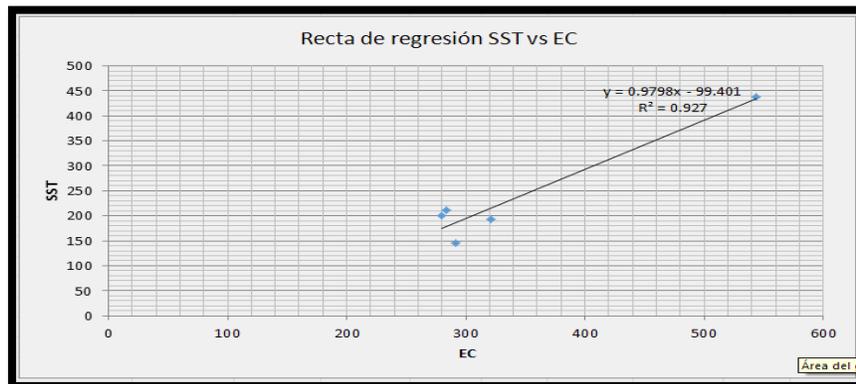


Fig15: Gráfico de regresión de SST vs EC de Acueducto los Negros

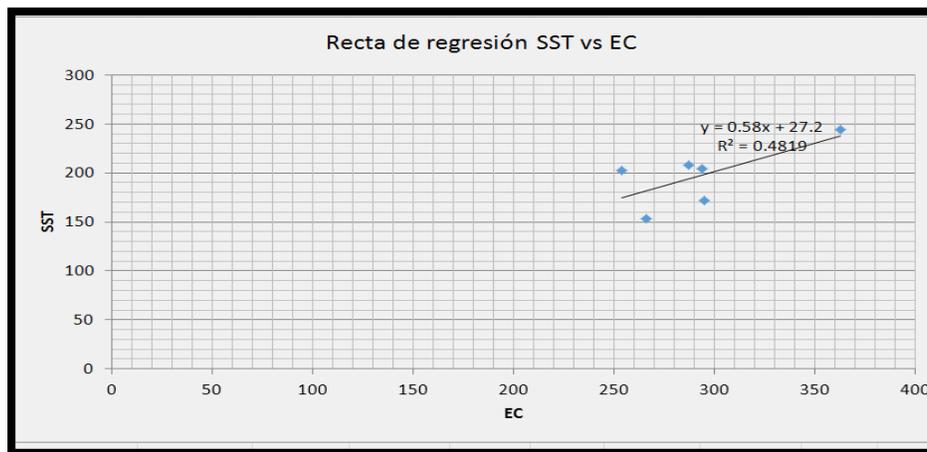


Fig16: Gráfico de regresión de SST vs EC de Acueducto Manantial Paso Seco

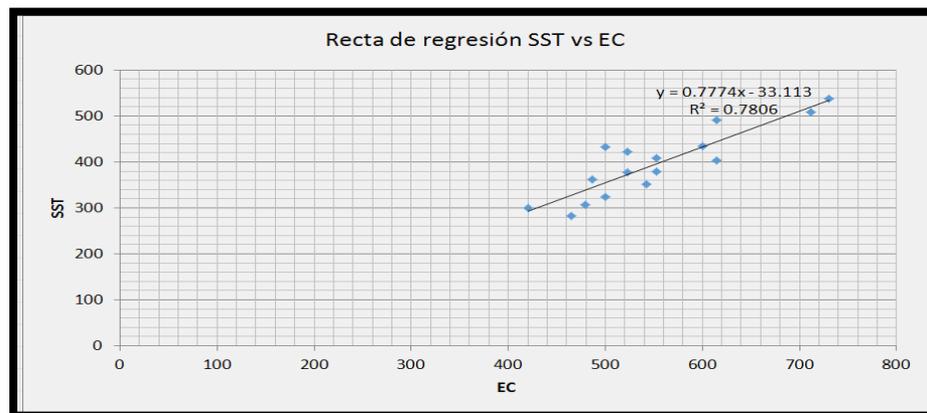


Fig17: Gráfico de regresión de SST vs EC de la Presa Baraguá

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

Los resultados de estos análisis (de los macroconstituyentes), resultaron que de las 4 estaciones de monitoreo, fueron positiva 3: Presa Baraguá, Acueducto Baire y Los Negros (Fig. 14,15 y 17) donde se obtuvo una buena correlación en los Acueductos Baire y Los Negros con 0.92, casi en el límite la estación Presa de Baraguá y negativa en el Acueducto Manantial Paso Seco ya el valor de regresión de 0.48. Este análisis que por primera vez se realiza con este nivel de detalle, muestra que en los acueductos Baire y Los Negros la relación de los aniones y cationes son estables demostrando muy buena relación entre la CE y las SST.

## **Conclusiones**

1. Se consultaron libros, artículos, manuales de cálculos sobre los ICAs internacional y nacional.
2. Se determinaron los ICAs con 2 plantillas: se inicia en el periodo seco 2015-16 y la segunda mejorada a partir del 2018.
3. El Índice de calidad del agua mejora en los periodos húmedos.
4. Con la evaluación de los macroconstituyentes y por los resultados de los análisis en los acueductos Baire y Los Negros se pueden suspender estos análisis y adicionar 2 estaciones para el ICAs.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### **Recomendaciones**

1. Continuar los cálculos de los macroconstituyentes paulatinamente a otras estaciones.
2. Incrementar las estaciones de la Red Cal para evaluar el ICAs según los resultados de los macroconstituyentes.
3. Controlar los planes de inversiones de los organismos contaminadores.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

### **Bibliografía:**

1. Borrero B...Catalogo de Cuenca Hidrográficas (Río Cauto), Cuba. Instituto nacional de recursos hidráulicos. Dirección de protección de cuenca y calidad de las aguas
2. Brown N., (1970). A water quality Index-Do we dare. Water and Sewage Works, Vol 11, pp 339-343.
3. Celada M... Cuenca Cauto, Caracterización morfométrica y afectaciones por contaminantes.
4. Denious S.H., (1987). Design of an Index of Water Quality, Vol 23. 1987.
5. De las Cuevas Ferreiro, R. Evaluación de la calidad de las aguas de la cuenca Cochino-Bermejo mediante Índices Generales de Calidad de Aguas (ICA). Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias. 2007. INRH, CUJAE.
6. Díaz...J *et al.*...Resumen metodológico: Un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en las cuencas hidrográficas (ICAs 2014).
7. Díaz,2018 *et all* Tarea Técnica: Relaciones entre la conductividad eléctrica y los macroconstituyentes en cuenca hidrográficas.
8. García J.M., Beato O., Gutiérrez J., (1983). Un índice para evaluar la calidad de las aguas superficiales. Voluntad Hidráulica, Vol.62, año 1983, Cuba.
9. García J.M., Gutiérrez J. (1988). Dos nuevos índices para evaluar la calidad de los acuíferos cársicos cubanos. Taller Internacional sobre Hidrología en la Región del Caribe. UNESCO, PHI, Palacio de las Convenciones, la Habana, Cuba. Memorias. Diciembre de 1988.
10. García J.M., Gutiérrez J., (1982). Un índice regional de calidad de aguas para los acuíferos cársicos. Coloquio Internacional sobre Hidrología Cársica en la Región del Caribe. UNESCO. PHI. Palacio de las Convenciones, la Habana, Cuba. Memorias pp. 525-536.Diciembre de 1982.
11. García J.M., Gutiérrez J., (1992). Índices de calidad de aguas: Resumen de las experiencias cubanas. XXIII Congreso AIDIS de la Asociación Internacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), CUBA-AIDIS 1992. Memorias, Cuba.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

12. García J.M., Gutiérrez J., Castro V., (2013). Nueva herramienta para evaluar la gestión ambiental integrada en cuencas hidrográficas cubanas: el Índice simplificado de gestión en cuencas hidrográficas (IsGC) – 1ra. Etapa. Voluntad Hidráulica, No. 106, marzo de 2013, La Habana.
13. Gonzaga M.L., Carlvaho A.G., Lollo J.A., (2010). Aplicacao do índice de qualidade da agua considerando o uso do solo e a legislacao pertinente na bacia hidrográfica do córrego da onca em tres lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil, Pluris 2010.
14. González A., Gutiérrez J., (1974). Un Índice de Contaminación. Publicación interna Grupo Hidráulico Nacional, DAP, Folleto 42 pp. Cuba.
15. Gutiérrez J., García J.M., Beato O., (1979). Un índice de calidad para las aguas subterráneas. Instituto de Hicroeconomía, MICONS. Publicación interna. Folleto 25 pp. Cuba.
16. García J.M. y J. Gutiérrez: “Un Índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICA sp 2014)”. Revista Voluntad Hidráulica, vol.113, Cuba, 2015.
17. Horton R.K, (1965). Index number system for rating water quality. Water Pollution, Vol 307, pp 300-306.
18. Liou S.L., Lo S.L., Wang S.H., (2004). A generalized water quality index for Taiwan. Enviromental Monitoring and Assessment, vol. 96, No. 1-3, pp. 32-35.
19. Montoya H., Contreras C., García V., (1997). Estudio integral de la calidad del agua en el estado de Jalisco, Guadalajara, Comisión Nacional del Agua, p106.
20. Morales Campos, C. Diseño de un Índice de Calidad para el manejo y gestión de los ríos de Ciudad de La Habana. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias. Junio 2008. CUJAE.
21. NC-27-2012., (2012). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. Cuba.
22. Queralt., (1982). Agencia Catalana del agua. 1982. Índice de calidad.

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

---

23. Rojas O., (1991). Índice de calidad del agua en fuente de captación. Seminario Internacional sobre Calidad del Agua, Cali, Colombia.
24. Sánchez D...Aplicación de la Directiva Marco de Agua 2000/60/CE en la cuenca hidrográfica del río Guadalhorce (Málaga). Caracterización inicial". Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, España. (2010).

## Índice de calidad de las aguas superficiales de la cuenca Cauto-Santiago de Cuba

### Anexo:

#### Período Húmedo 2018

No	Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
1	Río Guaninicún 3	76,11	(MC)
2	Río Guaninicún	77,68	(MC)
3	Río Guaninicún 1		
4	Río Yarayabo 1	73,03	(MC)
5	Entrega Embalse Gota Blanca	76,77	(MC)
6	Río Yarayabo	77,59	(MC)
7	Río Cauto 2	84,80	(A)
8	Río Guaninicún 2	74,48	(MC)
9	Río Mogote 1	77,33	(MC)
10	Río Contramaestre 4	64,95	(C)
11	Río Contramaestre 3	71,64	(MC)
13	Río Mogote 2		
14	Entrega Embalse Hatillo	71,16	(MC)
15	Río Guaninao 1	76,88	(MC)
16	Entrega Embalse C. M. de Céspedes	81,50	(A)
17	Entrega Embalse P. de Baraguá	71,94	(MC)
18			
19	<b>Promedio</b>	<b>75,42</b>	<b>(A)</b>
20			

#### Período Húmedo 2017

No	Estaciones	Valor ICAsup	Clasificación
1	Río Guaninicún 3	76,11	(MC)
2	Río Guaninicún	77,68	(MC)
3	Río Guaninicún 1		
4	Río Yarayabo 1	73,03	(MC)
5	Entrega Embalse Gota Blanca	76,77	(MC)
6	Río Yarayabo	77,59	(MC)
7	Río Cauto 2	84,80	(A)
8	Río Guaninicún 2	74,48	(MC)
9	Río Mogote 1	77,33	(MC)
10	Río Contramaestre 4	64,95	(C)
11	Río Contramaestre 3	71,64	(MC)
13	Río Mogote 2		
14	Entrega Embalse Hatillo	71,16	(MC)
15	Río Guaninao 1	76,88	(MC)
16	Entrega Embalse C. M. de Céspedes	81,50	(A)
17	Entrega Embalse P. de Baraguá	71,94	(MC)
18			
19	<b>Promedio</b>	<b>75,42</b>	<b>(A)</b>
20			