



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i2.4802>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

Obtaining the ICA using the ROJAS 1991 methodology, for the section from the Santa Ana diversion dam to the Cuatro Esquinas Treatment Plant

Obtenção do ICA utilizando a metodologia ROJAS 1991, para o trecho da barragem de derivação de Santa Ana até à Estação de Tratamento de Águas Residuais de Cuatro Esquinas

Julio Benito Intriago Flores ^I
julio.intriago@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0822-8184>

Luis Marcelo Álava Rosales ^{II}
marcelomyster@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9653-7483>

Lenín Wellington Mendoza Bowen ^{III}
lenin.mendoza@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9653-7483>

Olinda Elizabeth Caicedo Arévalo ^{IV}
olinda.caicedo@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7032-2273>

Marjory Elizabeth Caballero ^V
marjory.caballero@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7377-554X>

Pablo Alfonso Guadamud Mieles ^{VI}
pablo.guadamud@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7581-5202>

Correspondencia: julio.intriago@utm.edu.ec

***Recibido:** 10 de marzo de 2026 ***Aceptado:** 30 de marzo de 2026 * **Publicado:** 20 de abril de 2026

- I. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- V. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- VI. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

Resumen

El trabajo analiza la metodología ICA- ROJAS 1991 para la obtención del Índice de Calidad del agua, considerando seis parámetros físicos, químicos y microbiológicos tales como: Oxígeno disuelto (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), Coliformes fecales, Turbidez y Sólidos suspendidos totales. Mediante un ejemplo claro en la obtención del ICA mediante esta metodología a un canal abierto de hormigón armado que lleva agua superficial desde la presa derivadora Santa Ana conocida también como Salazar Barragán en el cantón Santa Ana hasta la planta de tratamiento Cuatro Esquinas, en el cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador, con un recorrido aproximado de 18 kilómetros. Además, expone la bondad de trabajar con esta metodología en comparación con las utilizadas a nivel mundial, muy útil en ríos de clima tropical.

Palabras Claves: Calidad de agua; ICA-ROJAS; ríos; Coliformes fecales.

Abstract

This study analyzes the ICA-ROJAS 1991 methodology for obtaining the Water Quality Index, considering six physical, chemical, and microbiological parameters: Dissolved Oxygen (DO), pH, 5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Fecal Coliforms, Turbidity, and Total Suspended Solids. A clear example is provided of obtaining the ICA using this methodology for an open reinforced concrete channel that carries surface water from the Santa Ana diversion dam, also known as Salazar Barragán, in the Santa Ana canton to the Cuatro Esquinas water treatment plant in the Portoviejo canton, Manabí province, Ecuador, a distance of approximately 18 kilometers. Furthermore, the study demonstrates the advantages of this methodology compared to those used worldwide, highlighting its usefulness in tropical rivers.

Keywords: Water quality; ICA-ROJAS; rivers; fecal coliforms.

Resumo

Este estudo analisa a metodologia ICA-ROJAS 1991 para a obtenção do Índice de Qualidade da Água, considerando seis parâmetros físicos, químicos e microbiológicos: Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias (DBO5), Coliformes Fecais, Turbidez e Sólidos Totais em Suspensão. É apresentado um exemplo claro para a obtenção do ICA utilizando esta metodologia num canal aberto de betão armado que transporta água superficial desde a barragem de derivação de Santa Ana, também conhecida por Salazar Barragán, no cantão de Santa Ana, até à

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

estação de tratamento de águas Cuatro Esquinas, no cantão de Portoviejo, província de Manabí, Equador, numa distância de aproximadamente 18 quilómetros. Além disso, o estudo demonstra as vantagens desta metodologia em comparação com as utilizadas a nível mundial, destacando a sua utilidade em rios tropicais.

Palavras-chave: Qualidade da água; ICA-ROJAS; rios; coliformes fecais.

Introducción

El agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del hombre, sin embargo, no toda el agua puede ser utilizada indistintamente para suplir las necesidades del ser humano; su utilización está condicionada a la calidad que esta tenga.(Julio et al., n.d.)

Los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad del agua, es necesario monitorear estos tres componentes.(Benito et al., 2024)

Importancia del recurso agua

El agua es un elemento esencial para la vida, sin ella el hombre no podría existir. Toda población o comunidad ha buscado asentamiento cerca a una fuente de agua(Un et al., n.d.).

Las fuentes de agua, aunque disponibles en mayor o menor cantidad, han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la Antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de muchas de las enfermedades que estaba padeciendo y solo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía. (Intriago-flores & Guadamud-mieles, 2024)

A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de aguas residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos, a deteriorar los ecosistemas, etc. Fue así como se hizo necesario implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población. Por esta razón, la calidad del agua es la rama de la Ingeniería que pretende:

Diagnosticar los problemas relacionados con la calidad del agua.

Relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua.

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

Juzgar qué variables de calidad del agua se necesita controlar y los medios o recursos disponibles para hacerlo.

El agua en el mundo

El agua en el mundo circula naturalmente a través de los océanos, la atmosfera, lagos y ríos, glaciares y aguas subterráneas.

La mayor parte de agua en el mundo es salada y está en los océanos y mares en un 96.5 %, seguido por casquetes y glaciares polares en un 1,74 % concentrando la mayor parte de agua dulce en nuestro planeta, y la parte de agua superficial implícitamente en ríos en un pequeño porcentaje del 0.0002 %.(Intriago-Flores, 2023).

Los países latinoamericanos gozan de las más grandes reservas de agua dulce del mundo; sin embargo, tienen muchos desafíos por delante respecto a la gestión de los recursos hídricos. Se requieren garantizar acceso universal al agua, mejorar la eficiencia de su gestión y disminuir la contaminación de los acuíferos. Desde los años noventa, la contaminación de los ríos ha empeorado, de esta forma, mientras en los países desarrollados la calidad del agua mejora con el paso de los años, la contaminación de ríos empeora en países en vías de crecimiento (Iriarte, 2018) .

Las actividades tales como eutroficación, destrucciones del hábitat, sedimentación, vertimiento de desechos de las industrias, entre otros, provocan contaminación a lo largo de toda la cuenca del río conforme vayan pasando más a los centros poblados y a las zonas industriales (Montilla & Pacheco, 2017). Estas acciones no solo afectan a la salud propia del río sino también a la población humana (Cevallos et al., 2015). Según la Organización Panamericana de la Salud (Organización Panamericana de la Salud, 2012) los más vulnerables son los niños entre 0 -5 años, provocando 842 000 muertes anuales alrededor del mundo, por enfermedades relacionadas con la mala calidad de agua como, el colera, esquistosomiasis, la malaria, la legionelosis entre otras (Acuerdo 097A, 2015) .

Según Cevallos et al.(2015), el Ecuador es un país rico en cantidad de agua, más no en calidad, ya que según varias fuentes el 70% de los ríos de Ecuador se encuentran en procesos críticos de contaminación. Las principales causas de estas cifras se deben particularmente a los residuos domésticos en su mayor porcentaje, residuos industriales , malas prácticas agrícolas, erosión de suelos y la minería (Olguín et al., 2010) . Los Ríos más contaminados a nivel nacional son el río Guayas en la provincia de Guayas, el río Machángara en la provincia de Pichincha, el río Esmeraldas en la

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

provincia de Esmeraldas, el río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi, los ríos Sicalpa, Chibunga y Chambo en la provincia de Chimborazo (Cevallos et al., 2015).

Según (Macias & Diaz, 2010) indican que uno de los principales problemas ambientales que afectan a la calidad de agua en la cuenca del río Portoviejo, es el manejo inadecuado de los suelos y cultivos, además de otras fuentes de contaminación como las lubricadoras, hospitales, camales, poblaciones cercanas que descargan directamente al río sin ningún tipo de control.

Basado en estos antecedentes, resulta prioritario realizar una evaluación de la calidad de agua en la cuenca media y baja del río Portoviejo mediante la aplicación del ICA-NSF y de esta manera establecer el grado de contaminación actual de este importante curso de agua. Además de establecer estrategias que puedan controlarla.

Calidad de agua y su índice

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2017), el agua es indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades cotidianas del hombre. Sin embargo, no toda el agua puede ser utilizada indistintamente para suplir las necesidades del ser humano; su utilización está condicionada a la calidad que esta tenga (Instituto Nacional de Meteorología).

En cuanto a los parámetros de calidad del agua según Olgún et al. (2010) se tiene: los físicos, químicos y microbiológicos, cuyos ensayos y pruebas en laboratorio son los métodos cuantitativos utilizados.

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 la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura (P. Torres et al., 2018).

La evaluación general de la calidad del agua ha sido objeto de múltiples discusiones en cuanto a su aplicación para regulación del recurso hídrico en el mundo, ya que está considerada criterios que no siempre garantizan el resultado esperado para regiones con diferentes características. Como consecuencia muchos países han desarrollado estudios e indicadores tendentes a aplicar criterios de evaluación propios de tal manera que su aplicación corresponda con sus requerimientos y necesidades (Jiménez & Barba, 2000) .

Los intentos para lograr construir un índice que permita calificar la calidad de agua tienen mucha historia, existe información proporcionada por Patiño (2016)de que en Alemania en 1848 ya se

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua. En los últimos 130 años los países europeos han aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas, sin embargo, el desarrollo del ICA basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad del agua en una escala prácticamente continua son relativamente recientes. Rojas et al. (2009) proponen el uso de ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática.

Otro en generar una metodología unificada para el cálculo del índice de calidad fue Liebman en el año 1969 (Valdés Bato et al., 2011). Sin embargo, estos solo fueron utilizados y aceptados por las agencias de monitoreo de calidad del agua en los años setenta cuando los ICA tomaron más importancia en la evaluación del recurso hídrico.

Según Patiño (2016), en el año 1982, en España se desarrolló el índice de calidad de agua (ISQA) basados en cinco parámetros fisicoquímicos y planteo una clasificación de calidad del agua para seis usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento, para el consumo humano. Según Rojas et al. (2009), Dinius en el año 1972, replanteó un ICA conformado por 12 parámetros físico químicos y microbiológicos, pero a diferencia del ICA-NSF, cuya clasificación está orientada a aguas a ser empleadas como fuente de captación para el consumo humano, considera cinco usos del recurso: consumo humano, agrícola, pesca y vida acuática, industrial y recreación.

Parámetros que conforman los ICA

Según C. Torres (2018), el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de “agua pura”. El agua altamente contaminada tendrá un ICA ≈ 0 %, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del ICA ≈ 100 %. El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas:

1. La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua.
2. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación.
3. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro.

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

4. Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo.
5. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua.

Los parámetros ser incluidos en los ICA han estado marcados, desde sus inicios, por la apreciación de expertos que se han encasillados como estándares. (P. Torres et al., 2018), recomienda seleccionar los parámetros de las cinco categorías más comunes conocidas: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, caracterizaciones físicas y sustancias disueltas. Existen algunos modelos para definir los índices de calidad de agua, midiendo una serie de parámetros. En el anexo 1 se presentan los diferentes parámetros de calidad de agua contemplados por las diferentes metodologías para establecer el ICA. En el Ecuador según (Quiroz et al., 2017), la metodología a utilizar es la propuesta por Brown et al. (1970) desarrollado por la National Sanitation Fundación (ICA-NSF).

De manera global son 18 los parámetros para determinar el ICA los cuales son:

1. Demanda Bioquímica de Oxígeno
2. Oxígeno disuelto
3. Coliformes fecales
4. Coliformes totales
5. Potencial de Hidrógeno
6. Dureza total
7. Sólidos disueltos
8. Sólidos suspendidos
9. Cloruros
10. Conductividad eléctrica
11. Alcalinidad
12. Grasas y aceites
13. Nitrógeno de nitratos
14. Nitrógeno amoniacal
15. Fosfatos totales
16. SAAM
17. Color

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

18. Turbiedad

A continuación, en la tabla 1 detallaremos sus coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA.

Tabla 1. Coeficiente de ponderación para el cálculo del ICA.

Parámetro	Importancia/ ponderación
pH	1.0
Color	1.0
Turbiedad	0.5
Grasas y aceites	2.0
Solidos suspendidos	1.0
Solidos disueltos	0.5
Conductividad eléctrica	2.0
Alcalinidad	1.0
Dureza total	1.0
Nitrógeno de nitratos	2.0
Nitrógeno amoniacal	2.0
Fosfatos totales	2.0
Cloruros	0.5
Oxígeno disuelto	5.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5.0
Coliformes totales	3.0
Coliformes fecales	4.0
SAAM	3.0

Importancia relativa de los parámetros del ICA

Además del ICA general, es posible calcular los valores del ICA para las categorías siguientes:

- Materia orgánica
- Bacteriológico
- Material iónico
- Material en suspensión

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

- Nutrientes.

A continuación, se agruparán en la tabla 2, los parámetros para ICA's particulares

Tabla 2. Agrupación de parámetros para ICA's particulares

Parámetro	Clasificación
pH	Material iónico
Color	Material suspendido
Turbiedad	Material suspendido
Grasas y aceites	Material suspendido
Solidos suspendidos	Material suspendido
Solidos disueltos	Material iónico
Conductividad eléctrica	Material iónico
Alcalinidad	Material iónico
Dureza total	Material iónico
Nitrógeno de nitratos	Nutrientes
Nitrógeno amoniacal	Nutrientes
Fosfatos totales	Nutrientes
Cloruros	Material iónico
Oxígeno disuelto	Material orgánico
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Material orgánico
Coliformes totales	Bacteriológico
Coliformes fecales	Bacteriológico
SAAM	Nutrientes

Metodologías para la obtención del ICA

A continuación, detallaremos en la Figura 1 las diferentes metodologías que se utilizan a nivel mundial propuesta para la obtención del ICA.

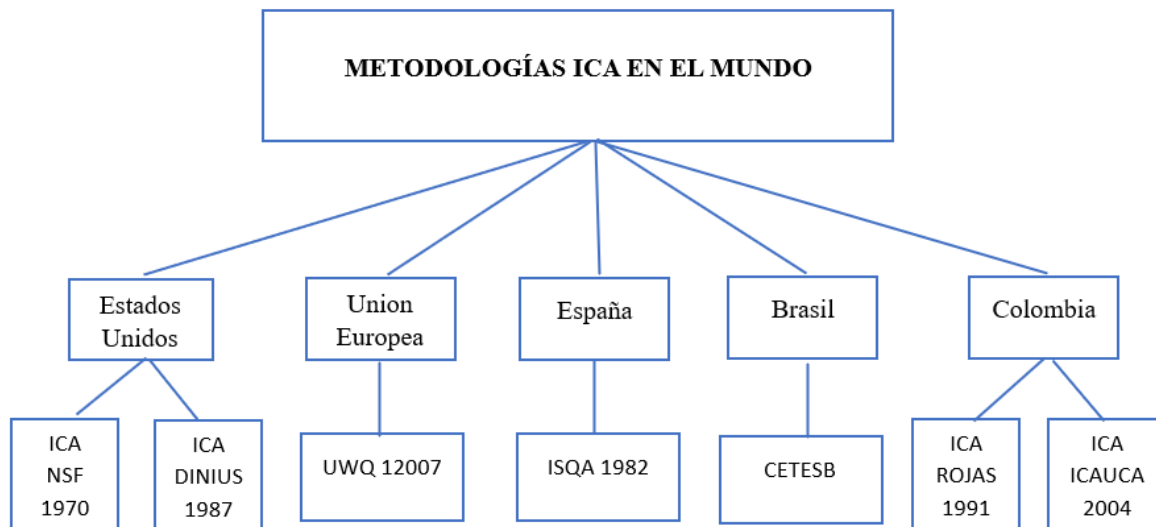


Figura 1. Diferentes metodologías a nivel mundial propuestas para la obtención de los ICA

Índice de Calidad del Agua (ICA) Rojas (1991).

Es una adaptación del conocido Índice de Calidad de Agua de la *National Sanitation Foundation* (ICA-NSF) para aplicarlo a las características hidrológicas, ambientales y de contaminación presentes en ríos colombianos tropicales, especialmente en cuencas como la del Río Cauca en Colombia. Fue formalizado por Rojas (1991) como respuesta a la necesidad de contar con un índice representativo de la calidad del agua en condiciones ambientales y de uso propias del país.

El Índice de Calidad del Agua propuesto por Rojas (1991), ha sido ampliamente utilizado en estudios de evaluación de ríos y fuentes hídricas superficiales en Colombia y en otras regiones tropicales, debido a su capacidad para sintetizar información fisicoquímica y microbiológica en un único valor numérico de fácil interpretación. Esta característica lo convierte en una herramienta técnica eficaz para la gestión ambiental y la toma de decisiones en el ámbito de los recursos hídricos. (Benito et al., 2025)

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

En el contexto del monitoreo ambiental rutinario, el ICA Rojas permite integrar resultados analíticos periódicos en un indicador estandarizado que facilita el seguimiento de tendencias temporales en la calidad del agua. Su estructura ponderada posibilita identificar variaciones asociadas a cambios estacionales, eventos hidrológicos extremos o modificaciones en las cargas contaminantes, contribuyendo a la detección temprana de procesos de deterioro ambiental.

Desde la perspectiva de la gestión y planificación de recursos hídricos, el índice proporciona una base técnica para la formulación de planes de manejo de cuencas, priorización de inversiones en saneamiento y definición de metas de calidad. Al transformar múltiples variables en un valor único, simplifica la comunicación de resultados entre autoridades ambientales, tomadores de decisión y comunidades locales, sin perder el sustento científico derivado de los parámetros analizados.

En relación con la identificación de zonas críticas de contaminación, el ICA Rojas resulta particularmente útil en estudios comparativos entre diferentes tramos de un río o entre varios cuerpos de agua dentro de una misma cuenca. La comparación de valores del índice permite establecer gradientes de calidad y localizar sectores con mayores niveles de presión antrópica, tales como descargas de aguas residuales domésticas, vertimientos industriales o escorrentía agrícola.

Asimismo, el índice ha sido empleado en la evaluación de impactos derivados de vertidos puntuales y actividades antrópicas, ya que integra parámetros sensibles a la contaminación orgánica y microbiológica, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), el oxígeno disuelto y los coliformes fecales. Estos indicadores permiten evaluar alteraciones en la capacidad de autodepuración del sistema hídrico y estimar el grado de afectación ecológica.

Otro aspecto relevante es su utilidad en la comparación espacio-temporal de la calidad del agua. La aplicación sistemática del ICA Rojas en distintos periodos de muestreo posibilita analizar tendencias históricas y evaluar la efectividad de medidas de control implementadas. De igual forma, su aplicación en diferentes cuencas o regiones tropicales facilita estudios comparativos bajo un mismo marco metodológico.

Un ejemplo de aplicación del índice se observa en evaluaciones realizadas en la cuenca del Río Chambo (Ecuador), donde se analizaron parámetros como pH, oxígeno disuelto, DBO5, coliformes fecales, turbidez y sólidos suspendidos. A partir de la transformación de estos valores en subíndices y su posterior ponderación, se obtuvo un valor global de calidad que permitió clasificar el estado del recurso hídrico dentro de categorías predefinidas. Este tipo de estudios evidencia la versatilidad del

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

ICA Rojas para adaptarse a diferentes contextos geográficos tropicales, manteniendo coherencia metodológica y comparabilidad de resultados.

En conjunto, el ICA Rojas constituye una herramienta consolidada en la evaluación de la calidad de aguas superficiales en regiones tropicales, al ofrecer un equilibrio entre rigor técnico, simplicidad operativa y aplicabilidad en procesos de gestión ambiental.

Este índice se basa en la evaluación cuantitativa de parámetros físico-químicos y microbiológicos claves que reflejan el estado de los recursos hídricos superficiales, y ofrece una forma simplificada de comunicar la calidad del agua mediante un número final y una clasificación categórica (por ejemplo, muy mala, mala, regular, aceptable, buena).

Parámetros utilizados

Rojas (1991) adaptó el ICA original eliminando algunos parámetros que en los ríos tropicales “no presentaban impacto significativo” o cuya variación era mínima (como temperatura, nitratos y fosfatos en ciertos casos) y dejando sólo aquellos cuya variabilidad y correlación con la contaminación eran relevantes para el contexto colombiano.

Los parámetros incluidos típicamente son seis:

1. Oxígeno disuelto (OD)
2. pH
3. Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5)
4. Coliformes fecales
5. Turbidez
6. Sólidos suspendidos totales

Estos corresponden a variables que representan aspectos críticos de la calidad del agua: oxigenación, acidez/alcalinidad, materia orgánica biodegradable, contaminación microbiológica y partículas en suspensión.

La forma de evaluar el índice es ponderar cada parámetro según su importancia relativa y luego sumar esos valores ajustados para obtener un valor total que refleje la calidad del agua según la ecuación (1):

$$ICA = \sum_{i=1}^n C_i \times W_i \quad (1)$$

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

Donde:

- C_i = Subíndice o calificación del parámetro i según su concentración observada.
- W_i = Peso o ponderación asignado al parámetro i , entre 0 y 1.
- n = número total de parámetros

Ponderaciones

Los pesos aproximados más utilizados para el ICA Rojas son los que se aprecian en la tabla 3

Tabla 3. Ponderaciones de los pesos W_i por parámetros.

Parámetro	Peso (W_i)
Oxígeno disuelto	0.25
pH	0.17
DBO5	0.15
Coliformes fecales	0.21
Turbidez	0.11
Sólidos suspendidos totales	0.11

Una vez calculado el índice total de calidad, éste se interpreta dentro de una escala que clasifica la calidad del agua en categorías estándar, que permiten una lectura clara de los resultados (ver tabla 4):

Tabla 4. Interpretación de resultados según rangos de calidad de agua, método ICA - ROJAS

Rangos	Calidad
0.00 – 0,25	Muy mala
0.26 – 0.50	Mala
0.51 – 0.70	Regular
0.71 – 0.90	Aceptable

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

0.91 – 1.00	Buena
-------------	-------

Esta escala suele ser usada en seguimiento ambiental para evaluar tramos de cuencas, identificar tendencias de contaminación y orientar decisiones de gestión ambiental y de recursos hídricos.

Caso de ejemplo: Calidad de agua en tres puntos del Canal margen derecho del embalse Santa Ana hacia planta de tratamiento Cuatro Esquinas.

El canal que inicialmente fue concebido para dotación de agua de riego para la zona media del río Portoviejo, constituye un colector principal urbano de sección trapezoidal de Hormigón armado, que transporta escorrentía pluvial y aguas desde el embalse Santa Ana (coordenadas UTM: 570901.25 m E; 9866404.99 m S), en el cantón Santa Ana provincia de Manabí, hasta la planta de tratamiento de agua potable llamada Cuatro Esquinas en la cantón Portoviejo (coordenadas UTM: 563117.00 m E; 9881063.00 m S), provincia de Manabí, siendo una infraestructura clave para el saneamiento y dotación de agua potable en el cantón .Su calidad de agua suele estar condicionada por aportes domésticos y descargas no controladas, además de toda la contaminación biótica y abiótica del sector ya que es un canal abierto. Inicialmente fue concebido para llevar agua de riego a la zona media de la cuenca del rio Portoviejo.

Posee un recorrido aproximado de 18 kilómetros como se puede ver en la figura 2.

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

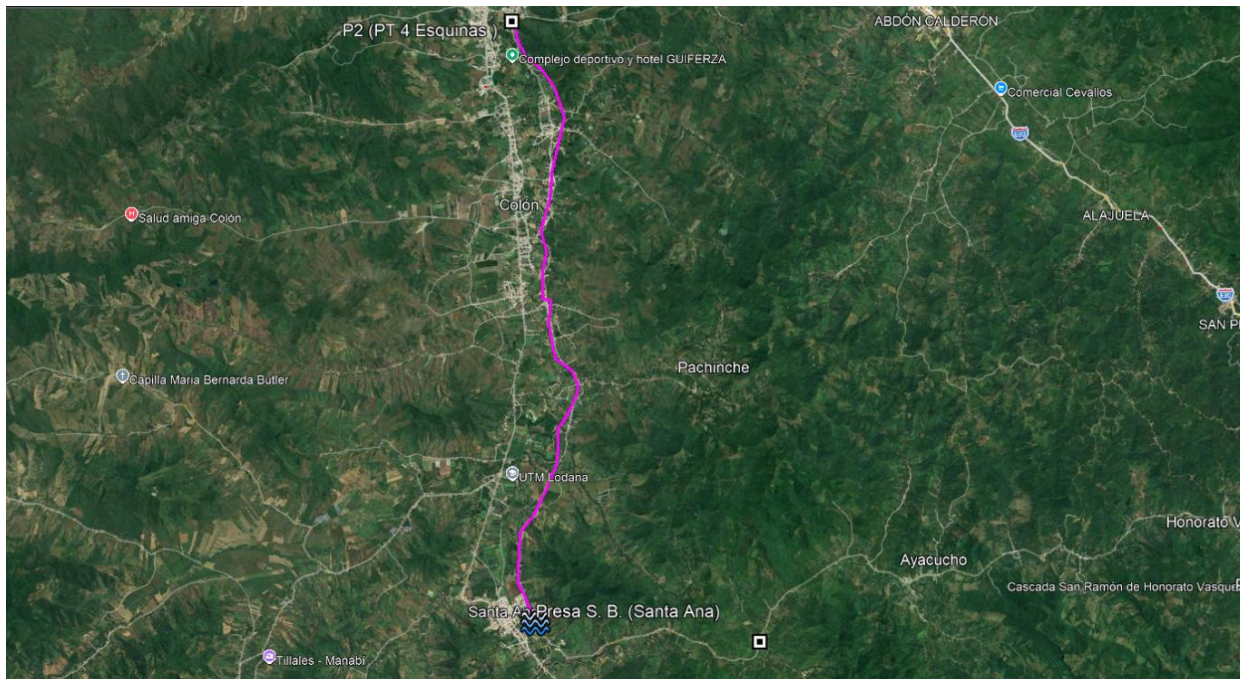


Figura 2. Recorrido y ubicación de la presa derivadora Salazar Barragán hasta la planta de tratamiento Cuatro Esquinas.

Muestreos.

Se recolectaron tres muestras de agua en los siguientes puntos (1,2 y 3), el punto uno en las coordenadas UTM: 570597.85 m E, 9866857.89 m S; punto dos: 567038.30 m E, 9874878.67 m S y punto tres: 563520.25 m E, 9880601.08 m S.

Importante indicar que se cumplió con todas las normas técnicas de muestreos vigentes como: la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 Agua.(NTE INEM 2117:2013, 2013) Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Agua.(Normalización, 2013) Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, y Norma Técnica NTE INEN 2226:2013 Agua. calidad del agua. muestreo. diseño de los programas de muestreo.(NTE INEM 2117:2013, 2013).

Metodología de medición de los parámetros de análisis.

La metodología aplicada a cada parámetro, de acuerdo al STANDAR METHODS FOR EXAMINATION WATER AND WASTEWATER (Rice, E. W., Bridgewater, L., Association, A. P. H., Association, A. W. W., & Federation, W. E. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: American Public Health Association)

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

Resultados obtenidos y conclusiones.

En el cuadro resumen de la tabla 5, se puede evidenciar los ICA obtenidos mediante la metodología ICA ROJAS 1991, en cada uno de los puntos de muestreo, lo que evidencia que en estos se obtuvieron un ICA de calidad media con un valor significativos del **DBO₅** y coliformes fecales lo que muestra una contaminación orgánica eminente, debido principalmente a los aportes domésticos y descargas no controladas.

Tabla 5. Resultados obtenidos desde el punto 1 al 3 mediante la metodología ICA-Rojas 1991

PARAMETRO	Resultados de ensayos			Punto 1			Punto 2			Punto3										
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Qi	Wi	Qi*Wi	Qi	Wi	Qi*Wi	Qi	Wi	Qi*Wi								
$DBO_5 \left[\frac{mg}{l} \right]$	74.00	75.00	78.00	12.00	0.11	1.32	11.00	0.11	1.21	8.00	0.11	0.88								
Coliformes Fecales [NMP/100ml]	43.00	60.00	41.00	87.00	0.16	13.92	82.00	0.16	13.12	88.00	0.16	14.08								
Oxigeno Disuelto(% saturacion)	74.60	71.00	68.60	78.00	0.17	13.26	74.00	0.17	12.58	71.00	0.17	12.07								
Ph [Unidades]	8.42	8.79	8.99	86.00	0.11	9.46	82.00	0.11	9.02	80.00	0.11	8.80								
Solidos Totales Disueltos [mg/L]	149.00	147.00	147.00	93.00	0.10	9.30	93.00	0.10	9.30	93.00	0.10	9.30								
Turbidez [NTU]	2.89	2.36	2.27	94.00	0.08	7.52	95.00	0.08	7.60	95.00	0.08	7.60								
ICA= $i=1 \sum n(Wi \times Qi)$						54.78	ICA= $i=1 \sum n(Wi \times Qi)$						52.83	ICA= $i=1 \sum n(Wi \times Qi)$						52.73
Media							Media							Media						

Referencias

- Acuerdo 097A, Registro Oficial No. 387 407 (2015).
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Benito, J., Flores, I., Irene, B., Giler, C., Francisco, F., & Lucas, F. (2025). Comparatives of the ICA , upper , middle and lower basins of the Portoviejo River Comparativos das bacias ICA , alta , média e baixa do rio Portoviejo (Vol. 11).
- Benito, J., Flores, I., Justiniano, A., Rodríguez, C., Iván, C., Villavicencio, P., Alfonso, P., & Mieles, G. (2024). Polo de Capacitación , Investigación y Publicación (POCAIP) hace constar que : El artículo científico : “ Cuenca media y baja del río Portoviejo , análisis comparativo de su contaminación , y estrategias para mitigarla ” Abg . Néstor Darío Suárez Montes.
- Camilo, L., Chacon, T., Augusto, C., & Celis, D. (2019). Aplicación de tecnologías SIG en el análisis geoespacial de determinantes de calidad del agua : Oxígeno disuelto , pH y temperatura del agua. luis.toto@unillanos.edu.co
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica-Nsf De Los Ríos Mazar Y Pindilig. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23518/1/tesis.pdf>
- Cevallos, E., Gomez, L., & Roldan, A. (2015). Análisis De Los Problemas Ambientales En El Cantón La Concordia, Provincia Santo Domingo De Los Tsáchilas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 4(1), 1–16.
- González, A. (2019). Evaluación de la Calidad de Agua captada para el abastecimiento a la ciudad de Baños de Agua Santa mediante el ICA-NSF. In *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Herdiana, I. (2013). VARIACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO (ICA – NSF) EN UN TRAMO DE LA QUEBRADA CRUZ DE MOTUPE. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. In *Instituto Nacional de Meteriología e Hidrología* (Issue 52). http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

- Intriago-Flores, J. B. (2023). Estrategias de aminoración de contaminantes: Calidad del agua de la cuenca baja del río Portoviejo. I, 23.
- Intriago-flores, J. B., & Guadamud-mieles, P. A. (2024). Julio Benito Intriago-Flores. 10, 359–382.
- Iriarte, M. (2019). Indicadores de calidad del agua residual doméstica descargada en la franja litoral de la Laguna de Punta de Piedras, Isla de Margarita, Venezuela. Memoria La Salle, 77(185), 51–63. maria.iriarte@fundacionlasalle.org.ve
- Iriarte, P. (2018). Rol de las armadas latinoamericanas ante las amenazas ambientales del Siglo XXI. Marina de Guerra Del Peru, 60(63), 61–72. iriarte@uc.edu.pe
- Jiménez, A., & Barba, Á. (2000). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS. Gestión Ambiental, 2(23), 12–19. revistaing@uc.edu.ve
- Julio, I., Intriago, B., Carlos, I., Valarezo, O., Jorge, I., Macias, L., Lucy, I., Solórzano, E., María, A., Pita, V., Cristian, I., Ordoñez, S., Luis, I., Álava, M., Rodrigo, I., & Noguera, J. (n.d.). Calidad de agua : ejemplos específicos.
- Macias, R., & Diaz, S. (2010). Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del Río Portoviejo . Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41(50), 1–7. <https://www.redalyc.org/html/1812/181220509053/>
- Manuel, A., Prado, P., Benito, J., Flores, I., & Civil, I. (2025). Keyner Joshue Pincay Proaño. 11, 1617–1641.
- Mayorga, O., Ramírez, M., & Mayorga, J. (2000). Índice de calidad de agua de los ríos Albarregas y Milla del Estado Mérida, Venezuela. Revista Ingeniería UC, 24(3), 428–432. revistaing@uc.edu.ve
- Montilla, A., & Pacheco, H. (2017). Comportamiento temporal y espacial del bosque ribereño en el curso bajo del río portoviejo y la quebrada chilán, provincia de Manabí, Ecuador. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 33(1), 21–35. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.02>
- Muñoz, H., Armienta, M., & Vera, A. (2004). NITRATO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE HUAMANTLA, TLAXCALA, MÉXICO. Rev. Int. Contam. Ambient, 20(3), 91–97. www.redalyc.org?articulo.oa?id=3702

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

- Olgún, E., González, R., Sánchez, G., & Zamora, J. (2010). Contaminación de ríos urbanos : El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa , Veracruz , México Resumen. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 1(2), 178–190. eugenoa@incol.edu.mx
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). Agua y saneamiento. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Patiño, P. (2016). Índices De Calidad De Agua en zonas altas. *Revista Ingenierias Universidad de Bogota.*, 7(16), 8–24. camcruz@univalle.edu.co
- Petra, P. (2016). Eliminación y determinación de fosfato. *Lange GACH*, 1(2), 1–10. www.lange.com
- Quiroz, L., Izquierdo Elena, & Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XXXVIII(3), 41–51. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha04317.pdf>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i1.12035>
- Ramírez, R., Montiel, V., & Vázquez, A. (2011). Programa Cropwat Para Planeación Y Manejo Del Recurso Hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2, 179–195. mavp52@hotmail.com
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125–134. rodriguez@uc.org
- Rojas, L., Macias, N., & Fonseca, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista Electrónica de La Agencia de Medio Ambiente*, 18(16), 1–5. http://www.ciesas.edu.mx/cee_xalapa/Informedegestionareassustantivas/Proyectosinstitucionales/aha.pdf
- Salinas, V., Mancini, M., Biolé, F., & Liendo, A. (2017). Características físico-químicas del agua y composición de la ictiofauna del embalse Piedras Moras (Córdoba , Argentina). *Rev. MUs. ARgentino Cienc.*, 19(2), 201–209. mmancini@ayv.unrc.edu.ar
- Torres, C. (2018). Escuela politécnica nacional. ctorres.sath@gmail.com

Obtención del ICA mediante la metodología ROJAS 1991, del tramo comprendido desde la presa derivadora Santa Ana hasta la planta de Tratamiento Cuatro Esquinas

- Torres, P., Cruz, C., & Patino, P. (2018). **ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA** . RSC Theoretical and Computational Chemistry Series, 2018-Janua(13), 386–423. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
- Un, I.-D. D. E., Anaeróbico, B., El, P., & Esquenazi, E. L. (n.d.). De Agua Potable. In *Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Valdes Bato, J., Samboni-Ruiz, N. E., & Carvajal-Escobar, Y. (2011). Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro. *TecnoLógicas*, 26, 165. <https://doi.org/10.22430/22565337.60>
- Zoppas, F. (2018). Purificación de agua : eliminación de nitratos , nitritos y compuestos orgánicos utilizando catalizadores en polvo y estructurados. In *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL* (Vol. 1, Issue 4). www.univeersidaddellit.com