

Evaluación de la calidad del agua superficial del área de influencia del Complejo Industrial Santa Inés, Barinas, Venezuela

Assessment of the surface water quality at the Santa Ines Industrial Complex's area of influence in Barinas, Venezuela

Ilija-Ojeda, Mónica*; Espinosa-Jiménez, Carlos

Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de los Andes

*ilija@ula.ve

Resumen

Se evalúa la calidad del agua superficial en el área de influencia del Complejo Industrial Santa Inés en el estado Barinas, Venezuela, con la finalidad de apreciar los pasivos ambientales producto de la descarga de efluentes de la infraestructura existente en el sitio, en especial aquella relacionada con la actividad petrolera; servir como línea base para el Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural de la Refinería Batalla de Santa Inés, la infraestructura de mayor envergadura a ubicarse en este complejo y, finalmente, en función de los resultados obtenidos, recomendar el sitio más idóneo para la descarga de sus efluentes. Para definir la calidad del agua en cuatro de los caños más importantes del área de influencia del Complejo (Jaboncillo, El Barro, El Medio y Morrocoy), se realizó una serie de muestreos y se definieron los criterios para su determinación en los puntos muestreados en función de los usos potenciales asociados tomando como referencia las "Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos", publicadas en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela el 11 de Octubre de 1995. Los resultados, que definen la condición actual de los cursos de agua, se representan a través de mapas en donde se puede apreciar la variación espacial y temporal del espectro de calidad. Se demuestra la afectación que sobre los caños receptores causan las descargas de efluentes de las Estaciones de Flujo en el área de estudio, y se recomienda la pronta mejora y adecuación de los sistemas de tratamiento para disminuir los pasivos ambientales, así como la ubicación de las descargas de aguas residuales de la Refinería sobre el caño El Barro, dado el actual nivel de afectación de sus aguas.

Palabras clave: calidad de agua, parámetros fisicoquímicos y biológicos, estado Barinas, bioindicadores, gestión de recursos hídricos.

Abstract

The quality of the surface water is evaluated at the Santa Inés Industrial Complex's area of influence, in Barinas, Venezuela, with the purpose of assessing the environmental liabilities resulting from the discharge of effluents from the existing infrastructure at the site, especially the one related with oil industry; to serve as a baseline for the Environmental and Sociocultural Impact Assessment of the Batalla de Santa Inés Refinery, the largest infrastructure to be located in this complex and, finally, based on the results obtained, recommend the most suitable site for the discharge of its effluents. To define the water quality in four of the most important streams at the Complex's area of influence (Jaboncillo, El Barro, El Medio and Morrocoy), a series of samplings were carried out. The criteria for determining the quality of the water in the points sampled were defined according to the potential uses with reference to the Standards for classification and quality control of water bodies and discharges or liquid effluents, published in the Official Gazette of the Republic of Venezuela on October 11, 1995. The results that define the current condition of water courses are represented through maps where the spatial and temporal variation of the quality spectrum can be appreciated. Given the affectation that the effluent discharges from the Flow Stations causes on the receiver streams in the study area, it is recommended to promptly improve and adapt the effluent treatment to reduce the environmental liabilities, as well as to locate the discharges of wastewater from The Refinery on El Barro stream, given its current level of water affectation.

Keywords: water quality, biological and physicochemical parameters, Barinas, bio indicators, water resources management.

1 Introducción

La calidad del agua es un término que implica un juicio de valor sobre este recurso en función de su uso, ya que hace referencia al conjunto de características físicas, químicas, biológicas y estéticas que le confieren la idoneidad al recurso para un uso específico. Para cada uso del agua, se establecen una serie de requisitos casi siempre relacionados con las concentraciones de ciertos parámetros; si el agua reúne estos requisitos se dice que es de buena calidad para el uso que se esté considerando, de lo contrario se califica como inaceptable o inadecuada. En la actualidad, se prefiere hacer referencia al término calidad del ambiente acuático definido como el conjunto de concentraciones, especificaciones y distribución de sustancias que le confieren una cierta condición a la biota acuática en un cuerpo de agua considerando, de esta manera, además de los posibles usos intencionales de los recursos hídricos, la necesidad de mantener el equilibrio ecológico en un cuerpo de agua en particular y del ciclo hidrológico en general. (Ferrara y col., 2007).

La calidad del agua puede evaluarse a partir de diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos y por medio de diferentes métodos. Por un lado están los índices referentes a los componentes abióticos, que evalúan directamente la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua a través de parámetros estandarizados para la calidad del agua en función del tipo y su potencial uso. Sin embargo, muchas de estas normas que establecen los límites permisibles de contaminantes en aguas tienen vacíos al momento de permitir clasificar y controlar la calidad de los cuerpos de agua, tal como veremos en este trabajo y como sucede por ejemplo con la Norma Oficial Mexicana donde se consideran fundamentalmente parámetros físicos y químicos de tipo inorgánico, y no suficientes aspectos microbiológicos de la contaminación (solo se toma en cuenta el grupo de coliformes totales y fecales, los cuales no son los mejores indicadores en las condiciones tropicales), o la estimación de la calidad del agua para fines agrícolas considera un número reducido de parámetros (Mazari y col., 2005, citado en Carabias y Landa, 2005). Otras metodologías bastante desarrolladas en Europa, EEUU y algo menos en Latinoamérica, se centran en el componente biótico y utilizan organismos como indicadores biológicos. Su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos, basándose en índices de diversidad que califican la calidad del agua. (Storaci y col., 2013). Se ha propuesto el uso de un tercer elemento que evalúa las condiciones de hábitat para sustentar la biota, tales como los índices de calidad de hábitat y estructura de ribera, separados o reunidos en índices de calidad fluvial (Barbour y col., 1999, citado en Mancilla y col., 2009).

El Complejo Industrial Santa Inés (de aquí en adelante COMINSI) nace de la necesidad de impulsar el desarrollo socio-productivo del eje occidental de Venezuela, cónsono con las políticas impartidas por el Gobierno Nacional

relativas a la activación del eje Orinoco-Apure. Este complejo, ubicado en la parroquia Torunos, municipio Barinas del estado Barinas, contará con una serie de empresas relacionadas con el área manufacturera, de construcción, agrícola, industrial, y petrolera, entre otras, siendo la más importante la Refinería Batalla de Santa Inés (de aquí en adelante RBSI), que busca garantizar el suministro de combustible en el sur-occidente del país a través del procesamiento de 100 mil barriles de petróleo por día. En este sentido, con el fin de garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental vigente en la República Bolivariana de Venezuela con respecto a la futura operación del COMINSI, fue necesaria la elaboración de un estudio para definir la calidad actual del agua de los caños Jaboncillo, El Barro, Morrocoy y El Medio, los cuales se encuentran en el área de influencia del COMINSI, tal como se muestra en la Figura 1. Todo esto con la finalidad de evaluar los pasivos ambientales producto de la descarga de efluentes de la infraestructura existente en el sitio, en especial aquella relacionada con la actividad petrolera; servir como línea base para el Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural de la RBSI, la infraestructura más importante a ubicarse en este complejo y, finalmente, en función de los resultados obtenidos, recomendar el curso de agua más idóneo para recibir la futura descarga de efluentes de la RBSI y poder evaluar la magnitud del impacto que dicha descarga tendría sobre la calidad del agua del curso escogido (Espinosa y col., 2014)

2 Descripción del área de estudio

Tal como se puede apreciar en la Figura 1, la red hidrográfica del área de influencia físico-natural del COMINSI, sigue una dirección Sur-Este y la constituyen numerosos ríos y caños de poca pendiente y régimen permanente o estacional en algunos casos, siendo los caños más importantes: Jaboncillo, El Barro, Morrocoy y El Medio (CIDIAT-ULA, 2010). Tanto en el área de influencia como aguas abajo de la misma, el uso actual de los cursos de agua es mayormente para abrevadero de ganado y riego de cultivos y pastizales en unidades de producción agropecuaria. Sin embargo, es importante tomar en cuenta el uso de estos cursos de agua como receptores de efluentes municipales y agroindustriales así como aguas residuales producto de la separación del petróleo y el agua (conocidas como aguas de producción), provenientes de las Estaciones de Flujo Silván, Sinco D, Mingo y Silvestre B; que descargan sobre los caños Jaboncillo (curso de agua de régimen intermitente que drena a un curso de agua de régimen permanente conocido como caño El Barro), Morrocoy, San Silvestre y Caribito, respectivamente, los cuales terminan siendo afluentes del río Pagüey.

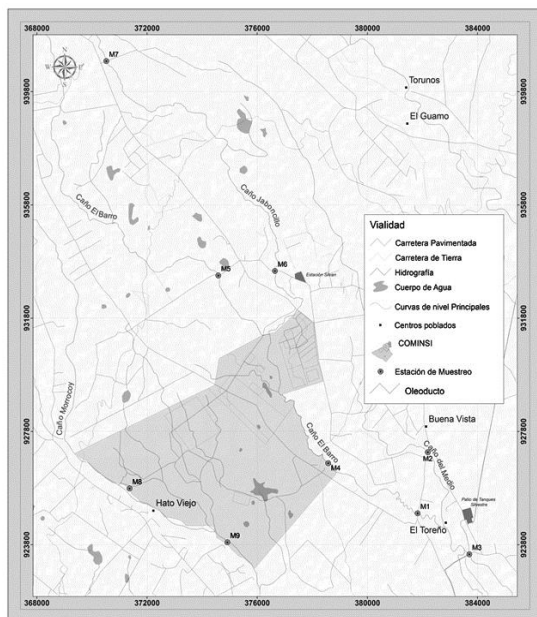


Figura 1. Área de influencia físico-natural del COMINSI, red hidrográfica y puntos de muestreo

3 Metodología

El esquema metodológico empleado para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, está constituido por cinco (5) fases, las cuales se describen a continuación:

3.1 Delimitación y producción de la cartografía base de las cuencas de los caños El Barro, Jaboncillo y El Medio aguas arriba del área de influencia del COMINSI.

Se identificó la red de drenaje de cauces con régimen permanente, intermitente y desconocido y la delimitación de la divisoria se realizó considerando las hojas de Cartografía Nacional a escalas 1:100.000 y 1:25.000.

3.2 Identificación, inventario y georeferenciación de la infraestructura existente dentro de las cuencas delimitadas que descargan efluentes -de manera puntual o dispersa- a los caños El Barro y Jaboncillo, aguas arriba del área de influencia del COMINSI.

Con la finalidad de determinar la existencia de pasivos ambientales producto de la descarga de efluentes de la infraestructura existente en el área de influencia del COMINSI, inferir de allí el tipo de contaminantes y definir los sitios de muestreo, se realizó un inventario en los caños Jaboncillo y El Barro, desde las cabeceras de sus cuencas en las inmediaciones de la ciudad de Barinas, siguiendo sus cauces aguas abajo hasta su entrada en el área de influencia del COMINSI, en un recorrido de unos 30 km por la carretera vía El Toreño. Con ayuda de la cartografía elaborada se fue georeferenciando y tomando evidencias fotográficas de unas 80 infraestructuras industriales,

urbanas y agropecuarias existentes que descargan efluentes (crudos o con algún grado de tratamiento) en estos caños y se realizó una descripción del tipo de efluentes líquidos esperados, en relación a sus principales contaminantes.

3.3 Diseño de una campaña de muestreo para definir la calidad actual de las aguas de los caños Jaboncillo, El Barro, El Medio y Morrocoy en el área de influencia del COMINSI.

Para definir la calidad de las aguas de los caños Jaboncillo, El Barro, El Medio y Morrocoy, en el área de influencia del COMINSI, se diseñó una campaña de muestreo basada en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que estableció: sitios de muestreo, frecuencia y parámetros. Además, los resultados fueron cotejados con información sobre los componentes de la biota acuática (ictiofauna y macroinvertebrados bentónicos) como indicadores de la calidad de las aguas, de estudios realizados en años anteriores (CIDIAT 2010, y REUNELLEZ 2002).

La selección de los puntos de muestreo se realizó como se puede apreciar en la Figura 1, en función de las facilidades de acceso y el inventario de la infraestructura que descarga efluentes a los caños El Barro y Jaboncillo en el área de influencia del COMINSI, con la finalidad de poder visualizar la variabilidad de calidad entre puntos de un mismo curso de agua (de existir). En el caso del caño El Barro, se contemplaron 3 puntos de muestreo: el primero, aguas arriba de su confluencia con el caño Jaboncillo (M5); el segundo, en un punto intermedio entre su confluencia con el caño Jaboncillo y su confluencia con el caño El Medio (M4); y el tercero, antes de su unión con el caño El Medio (M1). En el caso del caño Jaboncillo, se contemplaron 2 puntos de muestreo: el primero, aguas arriba de la descarga de la Estación de Flujo Silván (M7); y el segundo, aguas abajo de la descarga de la Estación de Flujo Silván, pero aguas arriba de su confluencia con el caño El Barro (M6). Finalmente, se contemplaron dos puntos de muestreo en el caño El Medio, por ser tributario del caño El Barro: el primero, aguas arriba de la confluencia del caño El Medio con el caño El Barro (M2); y el segundo, aguas abajo de la misma confluencia (M3). Finalmente, se tomaron 2 puntos de muestreo sobre el caño Morrocoy (M8 y M9), para un total de 9 puntos, ubicados en la Figura 1.

En cuanto a la frecuencia, dependiente de los datos disponibles y los requerimientos del usuario, usualmente se emplea un período mínimo de un año. En este caso, por cuestiones del tiempo previsto en la contratación, no se podía realizar una jornada anual, por lo que se consideró conveniente realizar cuatro jornadas de muestreo durante las épocas de estiaje, transición e invierno en cada uno de los puntos seleccionados, para un total de 36 muestras de agua, comenzando a finales del mes de septiembre de 2010 y terminando a mediados de enero de 2011, para tratar de

abarcar los cambios en el régimen de flujo en el tiempo previsto en la contratación.

Una vez seleccionados los puntos y la frecuencia del muestreo, se procedió a definir los parámetros. En este sentido, mundialmente se han utilizado distintos índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICO), como manera conveniente de resumir una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad del agua, en una expresión matemática que provea una descripción general y fácilmente entendible del “estado de salud” del sistema. De esta manera, un ICA está definido como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.

Según Fernández y Solano, 2005 (citado en Samboni et al, 2007), en el mundo hay por lo menos 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que van de 3 a 72. El primer Índice de Calidad de Agua (WQI, por sus siglas en inglés) fue desarrollado por la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos de Norteamérica (Brown 1970), el cual utiliza nueve parámetros (demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes fecales, nitratos, pH, cambio de temperatura, sólidos disueltos totales, fosfatos totales y turbiedad) y es en la actualidad uno de los más utilizados por agencias e instituciones de ese país. El método empleado en la elaboración de este índice implica la simplificación y el uso de juicios subjetivos por lo que existe la posibilidad de asignar mayor importancia a algunos parámetros o no considerar otros (Alberti y Parker, 1991., citado en Valcarcel y col., 2009). Otro ejemplo es el Índice de Calidad de Agua del Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá (CCME WQI, por sus siglas en inglés), el cual es flexible respecto al tipo y número de parámetros que deben ser determinados (CCME, 2012). Por su parte, la Comunidad Europea desarrolló el índice universal de la calidad del agua (UWQI, por sus siglas en inglés), para evaluar la calidad del agua superficial como fuente de agua potable, basándose en doce variables (Boyacioglu 2007., citado en Samboni et al, 2007). Para el caso latinoamericano, el desarrollo y aplicación de estos índices se ha dado con más auge en México, donde se aplica el índice INDIC-SEDUE para calificar el estado de los cuerpos de agua, basado en el índice desarrollado por Dinius y adaptado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) (Montoya y col., 1997., citado en Samboni y col., 2007). Sin embargo, su uso se ha vuelto complicado ya que la determinación de 18 parámetros es costosa y los resultados que se obtienen a veces no permiten distinguir en realidad el estado de los cuerpos de agua. Además, se obtiene que muchos cuerpos de agua no puedan calificarse aptos debido a la mayor

importancia que se da a los parámetros dirigidos a la protección de la vida acuática (Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales 2017).

Sea cual sea el índice de calidad de agua utilizado, la mayoría tienen como aspecto común su cálculo a través de los siguientes pasos: selección de parámetros (según Valcarcel y col., 2009 es recomendable que se empleen como mínimo cuatro parámetros del que se tengan al menos cuatro valores o muestreos), determinación de los valores para cada parámetro (subíndices) y determinación del índice por la agregación de los subíndices que lo conforman.

Dado que la selección de los parámetros es crítica para garantizar que el índice proporcione una información acertada del sistema que se estudia y que sea útil como herramienta de decisión para los administradores ambientales, en este trabajo, en lugar de utilizar un ICA previamente establecido, que mayormente obliga a adoptar parámetros específicos para el cálculo, se propone una metodología propia en función a las características naturales del recurso y su entorno, así como el objetivo del estudio. De esta manera, se seleccionaron aquellos parámetros que pudieran clasificar las aguas de acuerdo con los usos a que se destinen, de acuerdo a lo establecido en las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, publicadas en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela el 11 de Octubre de 1995 (en lo sucesivo, Decreto 883); se incluyeron algunos parámetros adicionales según consulta de expertos y en función a las actividades del entorno; y finalmente se establecieron una serie de criterios en función del número de parámetros que no cumplieran con los niveles establecidos en las normas. Como puede apreciarse, esta metodología tiene como ventaja la simplificación al no requerir transformaciones a los parámetros que y se evita la subjetividad al no realizar una ponderación de los parámetros que asigne diferente importancia o peso a los mismos dentro del cálculo del índice.

De esta manera, para este caso particular se seleccionaron los siguientes parámetros, debido a que sus valores límites permiten establecer una diferencia entre los tipos de agua, según el uso al cual puedan ser destinadas: aceites minerales e hidrocarburos, cianuro, detergentes, fenoles totales, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales, color real, turbidez, aluminio, cadmio, cobre, organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales y manganeso. Adicional a estos 15 parámetros, se incluyeron algunos que aunque en el Decreto 883 no permiten establecer una diferencia entre los usos de agua, si limitan algunos de ellos, como son cloruros, dureza total, sulfatos, nitrito+nitrato, sodio y fluoruro para el abastecimiento humano e industrial; y sólidos flotantes, hierro, zinc, y boro para el agropecuario. Finalmente se incluyeron también los siguientes parámetros: DBO y DQO, por ser parámetros clásicos para definir la calidad de las aguas; TPH (Hidrocarburos Totales de Hidrógeno) por ser compuestos con una alta probabilidad de ser encontrados en

estas aguas por la descarga de efluentes de actividad petrolera en la zona; cloruros porque muchas de las actividades humanas generan residuos con altas concentraciones de este ion, lo que lo convierte en un indicador ideal de afectación antrópica (Proyecto Fluoreciencia 2012); salinidad por ser un parámetro que afecta el uso de las aguas para la agricultura; y sílice, por ser un compuesto con una alta probabilidad de ser encontrado en los efluentes de las concreteras de la zona y que puede generar inconvenientes en aguas para uso industrial por las incrustaciones que produce en calderas, torres de enfriamiento y otros equipamientos industriales. De esta manera, se proponen un total de 30 parámetros que pudieran clasificar las aguas de acuerdo con los usos a que se destinen, mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de muestreo propuestos

Parámetros físico-químicos y biológicos
Aceites minerales e hidrocarburos
Cianuro
Detergentes
Fenoles Totales
Oxígeno Disuelto
pH
Sólidos Disueltos Totales
Color Real
Turbidez
Aluminio
Cadmio
Cobre
NMP Organismos Coliformes Totales
NMP Organismos Coliformes Fecales
Manganeso
Cloruros
Dureza Total
Sulfatos
Nitrito+Nitrato
Sodio
Fluoruro
Sólidos Flotantes
Hierro
Zinc
Boro
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
DQO (Demanda Química de Oxígeno)
TPH (Hidrocarburos Totales de Hidrógeno)
Salinidad
Sílice

A pesar del poco tiempo disponible, es importante acotar que se lograron realizar las cuatro jornadas de muestreos durante las épocas de estiaje, transición e invierno, lo cual era imprescindible para poder presentar los

escenarios extremos y establecer comparaciones. Sin embargo, se realizaron los muestreos sólo en ocho de los nueve puntos propuestos (el punto M9 resultó de difícil acceso para el personal del Laboratorio).

Una vez obtenidos los resultados de los muestreos, a través de una consulta de expertos se hacen las siguientes excepciones en cuanto a los 30 parámetros propuestos:

- Descartar los sólidos flotantes ya que, según el Decreto 883, deben estar ausentes para que el agua pueda ser utilizada para riego, pero sólo fueron detectados en una de cuatro muestras en el punto M2 y en una de tres muestras en el punto M7.

- No tomar en cuenta los coliformes totales ya que, según el Decreto 883, el promedio mensual de los mismos debe ser menor a 1000 y 5000 NMP/ml para aguas Tipo 2A y 2B respectivamente y, conforme a los resultados obtenidos, según este criterio el agua en ninguno de los puntos muestreados podría tener ese uso. En este sentido, es importante recordar que los coliformes fecales son bacterias que se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales superiores de sangre caliente, y se introducen al medio ambiente por las heces; pero dentro de los coliformes totales existen muchos coliformes de vida libre que no son de origen fecal, que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. De allí que la presencia de coliformes totales no representa mayor problema, siempre y cuando los coliformes fecales se encuentren dentro de los límites permitidos, ya que desde el punto de vista de la salud pública, la contaminación de origen fecal en el agua es la más peligrosa.

- No tomar en cuenta DBO y DQO ya que, aunque son parámetros clásicos para medir la calidad en función de la cantidad de oxígeno disuelto requerido para la oxidación microbiológica y química de la materia orgánica presente en la misma (Tchobanoglous y col., 1985), el parámetro Oxígeno Disuelto, que es la medida de la concentración de oxígeno en el agua, también es una medida de la calidad de la misma en cuanto a su contenido de materia orgánica y su capacidad de autodepuración. En este sentido, tomamos uno solo de los 3 parámetros, el Oxígeno Disuelto, para evitar darle un mayor peso a este factor que otros.

- Por una razón similar a la anterior, se decide no tomar en cuenta la salinidad, que está relacionada con la cantidad de sólidos disueltos totales y la presencia de iones de sodio, calcio, magnesio, sulfato y cloruro, cuyas concentraciones están siendo determinadas en su mayoría.

- Aunque para el caso de los cloruros, el Decreto 883 no contempla límites para el uso agropecuario e industrial, debido a sus efectos negativos sobre ambos usos -un contenido de cloruro elevado en el agua, interfiere en el desarrollo y crecimiento vegetal, y puede corroer tuberías de conducción y demás estructuras metálicas en las aguas que se utilizan para fines industriales-, se asume que para valores mayores a 600 mg/l (límite establecido para aguas Tipo 1A y 1B), esta agua también tendría limitaciones para

su uso agropecuario. De hecho, en las Guías de Calidad de Agua Canadienses para la Protección de los Usos Agrícolas (CCREM 2005), se limitan los cloruros en aguas usadas para riego a una concentración que varía entre 100 y 700 mg/l dependiendo del tipo de cultivo. Adicionalmente, por su sabor particular, altas concentraciones de cloruro pueden convertir las aguas en no aptas ni para consumo humano ni para abrevadero de animales. Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 250 mg/l en aguas de consumo, concentración que puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los consumidores animales (OMS 1976).

- Aunque para el caso del Sodio, el Decreto 883 no contempla límites para el uso agropecuario, se asume que para valores mayores a 200 mg/l (límite establecido para aguas Tipo 1A y 1B), esta agua también tendría limitaciones para uso agropecuario, ya que el exceso de sodio puede degradar la estructura de ciertos tipos de suelos, afectar la permeabilidad y causar problemas de infiltración hasta niveles menores al mínimo necesario para permitir la disponibilidad y absorción de agua por la planta, así como escasez de oxígeno y nutrientes lo cual puede afectar el crecimiento de las mismas. Adicionalmente, el sodio afecta la calidad del agua ya que su presencia indica salinidad además de ser un indicador potencial de corrosión.

- No incluir los parámetros cianuro, cadmio y TPH debido a que por inconvenientes con la disponibilidad de reactivos, no se pudieron hacer los análisis.

En base a los 22 parámetros restantes (los 30 listados en la Tabla 1, menos los 8 descartados), se definen mediante juicio de expertos los criterios presentados en la Tabla 2 para determinar la calidad del agua en los puntos muestreados, y luego representar los resultados a través de mapas donde se aprecia la variación espacial del espectro de calidad y los usos potenciales asociados que definen la condición actual de los cursos de agua, bajo dos escenarios: el más favorable que corresponde a la época de invierno (Figura 2), y el más desfavorable que corresponde a la época de estiaje (Figura 3).

3.4 Identificar usos actuales del agua, debajo del área de influencia del COMINSI

La calidad del agua es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos, es decir, la calidad del agua está en función del uso al cual se destine. En este sentido, en cuanto a los usos del agua, a nivel de la cuenca del caño El Barro y las microcuencas de los caños Jaboncillo y El Medio, existen unidades de producción agropecuaria, que hacen uso directo de estas aguas para suministrarla al ganado y para el riego de sus cultivos. A pesar de la presencia de algunos centros poblados importantes, como Torunos, Santa Inés, Santa Lucía, El Toreño y San Silvestre, el abastecimiento de agua

para uso humano es mayormente subterránea (CIDIAT, 2011). Finalmente, uno de los factores que influye en la calidad de los cursos de agua tiene que ver con el uso de los mismos como receptores de aguas de producción tratadas, provenientes de las Estaciones de Flujo Silván y Sinco D; que descargan sobre los caños Jaboncillo y Morrocoy, respectivamente. También es importante mencionar que los caños Jaboncillo y El Barro, en la parte alta de sus respectivas cuencas, son receptores de efluentes municipales e industriales de la ciudad de Barinas.

3.5 Análisis e interpretación de resultados para formular conclusiones y recomendaciones.

4 Resultados

Durante la época de invierno, escenario reflejado en la Figura 2, siendo el más favorable en cuanto a la calidad del agua, por coincidir con las concentraciones más bajas para cada uno de los parámetros analizados por efectos de dilución, las aguas del caño Jaboncillo en su parte alta (entre los puntos M7 y M6) presentan una condición leve de afectación y se clasifican como al menos Tipo 1B “Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección”; y Tipo 2A ó 2B “Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano o Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario”, respectivamente, dependiendo del conteo de coliformes fecales. No está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B “Aguas para balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, que requieran el contacto humano total o parcial”, respectivamente, por las concentraciones de coliformes fecales. Sin embargo, aguas abajo de la descarga de la Estación de Flujo Silván (punto M6) las aguas del caño Jaboncillo presentan una condición media de afectación y se clasifican como Tipo 1C “Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional”, sólo por la presencia de fenoles, lo que muestra la afectación que la descarga de efluentes de la Estación de Flujo Silván provoca en este cuerpo de agua, incluso en la época de invierno donde hay una mayor dilución de los contaminantes. En este tramo el uso agropecuario es permitido, Tipo 2A ó 2B, dependiendo del conteo de coliformes fecales, pero se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas concentraciones de fenoles. De igual manera, tampoco está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B, por las concentraciones de fenoles y coliformes fecales.

Tabla 2. Criterios para definir calidad de agua en base a usos potenciales.

	Criterios establecidos por juicio de expertos	Usos potenciales (Decreto 883, Capítulo 2)
Condición mínima de afectación	<ul style="list-style-type: none"> Al menos 17 de los 22 parámetros (75%) deben ser al menos 1B. La no presencia de coliformes fecales. Máximo 2 parámetros pueden ser 1C. 	Abastecimiento humano e industrial que requiera de agua potable (al menos de Tipo 1B)
Condición leve de afectación	<ul style="list-style-type: none"> Al menos 17 de los 22 parámetros (75%) deben ser al menos 1B. La presencia de coliformes fecales. Máximo 2 parámetros pueden ser 1C. Máximo 2 parámetros pueden restringir el riego. 	Abastecimiento humano e industrial que requiera de agua potable (al menos de Tipo 1B) Agropecuario (Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales)
Condición media de afectación	<ul style="list-style-type: none"> Al menos 17 de los 22 parámetros (75%) deben ser al menos 1B. La presencia de fenoles en concentración mayor a 0,002 mg/l. 	Abastecimiento humano e industrial que requiera de agua potable (Tipo 1C) sólo por altas concentraciones de fenoles* Agropecuario (Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales). Se excluye el uso como abrevadero de animales por altas concentraciones de fenoles*
Condición alta de afectación	<ul style="list-style-type: none"> Más de 5 de los 22 parámetros son 1C (menos de 17 son al menos 1B). El número de parámetros que permiten el riego es mayor que el número de parámetros que lo restringen. 	Abastecimiento humano e industrial que requiera de agua potable (Tipo 1C) Agropecuario (Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales)
Condición extrema de afectación	<ul style="list-style-type: none"> Más de 5 de los 22 parámetros son 1C (menos de 17 son al menos 1B). El número de parámetros que restringen el riego es mayor que el número de parámetros que lo permiten. 	Abastecimiento humano e industrial que requiera de agua potable (Tipo 1C) Agropecuario no permitido por altas concentraciones de cloruros, sodio, hierro, boro y coliformes fecales.

* Aunque más del 75% de los parámetros calificaran el agua como al menos Tipo 1B, consideramos que la sola presencia de fenoles, por su alto grado de toxicidad, requiere que el agua sea acondicionada por procesos de potabilización no convencionales (Tipo 1C). Por otra parte, aunque el Decreto 883 no hace la distinción en las aguas Tipo 2, entre agua para riego y agua para abrevadero de animales, en las Guías de Calidad de Agua Canadienses para la Protección de los Usos Agrícolas si se limita su uso como abrevadero para animales si su concentración está por encima de los 0,002 mg/l.

El caño El Barro en su parte alta (Punto M5 hasta su confluencia con el caño Jaboncillo), presenta una condición mínima de afectación y se clasifica como al menos Tipo 1B. Sin embargo, una vez que recibe al caño Jaboncillo, pasa a tener una condición media de afectación y sus aguas en este tramo (desde su confluencia con el caño Jaboncillo hasta su confluencia con el caño El Medio, pasando por los puntos M4 y M1) se clasifican como Tipo 1C sólo por la presencia de fenoles, producto de la afectación que trae el caño Jaboncillo aguas abajo de la Estación de Flujo Silván. En este tramo el uso agropecuario es permitido, Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales, pero se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas concentraciones de fenoles. De igual manera, está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B, sólo a partir del punto M1 por las concentraciones de coliformes fecales (lo cual se podría deber a las descargas de aguas residuales domésticas del poblado El Toreño sobre el caño). Esta misma condición se repite en el caño El Medio en su parte

alta (Punto M2 hasta su confluencia con el caño El Barro), pero una vez que recibe al caño El Barro, se produce una dilución mayor y el caño El Medio pasa a tener una condición leve de afectación y sus aguas en este tramo se clasifican como al menos Tipo 1B y Tipo 2A ó 2B, dependiendo del conteo de coliformes fecales. Se nota que los valores de oxígeno disuelto siguen siendo lo suficientemente bajos como para no permitir el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B en ningún sector del caño. En cuanto al caño Morrocoy, presenta una condición media de afectación entre los puntos M8 y M9, y sus aguas se clasifican como Tipo 1C sólo por la presencia de fenoles. En este tramo el uso agropecuario es permitido, Tipo 2A ó 2B, dependiendo del conteo de coliformes fecales, pero se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas concentraciones de fenoles, razón por la cual tampoco está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B, aunque por los valores de coliformes fecales se podría permitir el contacto humano parcial.

Durante la época de estiaje, representada en la Figura 3, que es el escenario más desfavorable en cuanto a la calidad del agua, por coincidir con las concentraciones más altas para cada uno de los parámetros analizados, las aguas del caño Jaboncillo en su parte alta (entre los puntos M7 y M6) pasan de tener una condición leve de afectación durante la época de invierno, a una condición media de afectación y se clasifican como Tipo 1C sólo por la presencia de fenoles, situación no esperada en este tramo del caño pero que muestra la afectación que tanto la actividad petrolera como el gran volumen de descargas municipales y agroindustriales que recibe este caño en su parte alta, han podido causar sobre el cuerpo de agua. En este tramo el uso agropecuario es permitido, Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales, pero se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas concentraciones de fenoles. Tampoco está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B por las concentraciones de fenoles, coliformes fecales, y por la presencia de sólidos sedimentables y flotantes. Aguas abajo de la descarga de la Estación de Flujo Silván (punto M6) las aguas del caño Jaboncillo ya presentan una condición extrema de afectación y se clasifican como Tipo 1C. En este tramo, el uso agropecuario no está permitido por altas concentraciones de cloruros, sodio, hierro, boro y coliformes fecales. Tampoco está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B por las concentraciones de fenoles, coliformes fecales y oxígeno disuelto. Las aguas del caño El Barro en su parte alta (Punto M5 hasta su confluencia con el caño Jaboncillo), presentan una condición media de afectación y se clasifican como Tipo 1C sólo por la presencia de fenoles. En este tramo el uso agropecuario es permitido, Tipo 2A ó 2B dependiendo del conteo de coliformes fecales, pero se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas concentraciones de fenoles. De igual manera, tampoco está permitido el uso de estas aguas para Tipo 4A ó 4B por las concentraciones de fenoles, oxígeno disuelto y coliformes fecales. Sin embargo, una vez que recibe al caño Jaboncillo, el caño El Barro pasa a tener una condición extrema de afectación, similar a la del caño Jaboncillo aguas abajo de la Estación de Flujo Silván, que se extiende desde su confluencia con el caño Jaboncillo hasta su confluencia con el caño El Medio, pasando por los puntos M4 y M1. El caño El Medio en su parte alta (Punto M2 hasta su confluencia con el caño El Barro), presenta una condición alta de afectación y se clasifican como Tipo 1C y Tipo 2A ó 2B, dependiendo del conteo de coliformes fecales. No está permitido el uso de estas aguas para para Tipo 4A ó 4B por las concentraciones de fenoles, oxígeno disuelto, coliformes fecales, y la presencia de sólidos sedimentables y flotantes. Esta condición se mantiene, incluso una vez que recibe al caño El Barro (Punto M3), a pesar de tener éste una condición extrema de afectación. En cuanto al caño Morrocoy, presenta la misma condición media de afectación observada durante la época de invierno.

5 Conclusiones y recomendaciones

Se evidencia que hay afectaciones en los sitios de muestreo que están siendo producidas por la deforestación y otras prácticas realizadas con la finalidad de establecer predios ganaderos y áreas de cultivos para la siembra de rubros agrícolas, sin respetar la franja de protección reglamentaria exigida para los cauces naturales de ríos, lo cual incrementa la escorrentía y con ello el transporte de sedimentos hacia los sistemas acuáticos. Igualmente se muestra que uno de los factores más importantes que influye en la calidad de los cursos de agua superficiales en el área de estudio, tiene que ver con el hecho de la existencia de actividad petrolera desde los primeros descubrimientos en Barinas que datan de 1948 y 1953, situación que ha venido generando durante muchos años contaminación a los cuerpos de agua y tierras, donde los más afectados son aquellos caños receptores de los efluentes provenientes de las Estaciones de Flujo.

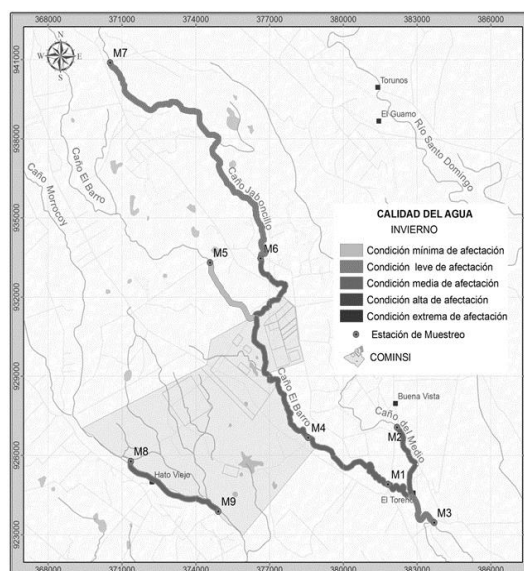


Figura 2. Mapa de calidad de agua durante la época de invierno

No sólo en los mapas de calidad de agua, sino también al analizar la variación espacial y temporal de ciertos parámetros en estos caños, como son el oxígeno disuelto, cloruros, conductividad eléctrica, dureza total, y fenoles; se pudo constatar los efectos negativos que causan las descargas de efluentes de la Estación Silván sobre los caños de la zona, cuya afectación va desde el caño Jaboncillo aguas abajo de la descarga de la Estación Silván, y siguen por el caño El Barro, una vez que el caño Jaboncillo ha confluído con éste. De hecho, durante la época de estiaje las aguas a todo lo largo de ese tramo presentan una condición extrema de afectación y se clasifican como Tipo 1C y el uso agropecuario no está permitido por altas concentraciones de cloruros, sodio, hierro, boro y coliformes fecales; mientras que en otros tramos -e incluso durante la época de invierno- se excluye el uso como abrevadero de animales por las altas

concentraciones de fenoles y el uso agropecuario es permitido dependiendo del conteo de coliformes fecales. Esto está claramente en contraposición con el uso de estos caños, el cual es mayormente para unidades de producción agropecuaria, que hacen uso directo de estas aguas como abrevadero para el ganado y para el riego de sus cultivos. Aquí es importante acotar que los elementos asociados a los efluentes petroleros, como sulfuros, fenoles, aceites, grasas e hidrocarburos, no se consideran en una normativa nacional para uso pecuario, aun cuando se conoce su efecto tóxico sobre animales y humanos (Galán 1999). Quedando demostrada la afectación que causan las descargas de efluentes de las Estaciones de Flujo sobre los caños receptores del área de estudio, solo queda recomendar su pronta adecuación a través de la actualización de los sistemas de tratamiento existentes, para disminuir los pasivos ambientales producto de la actividad petrolera.

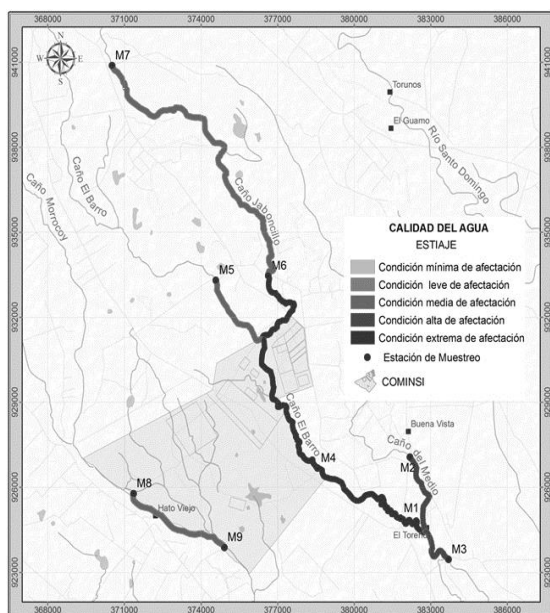


Figura 3. Mapa de calidad de agua durante la época de estiaje

Se pudo constatar que la calidad del agua varía no solo espacial sino temporalmente, observándose un detrimento considerable en la misma durante la época de estiaje, por haber una menor dilución de los contaminantes, a diferencia de la gran capacidad que tiene la sabana y sus drenajes de diluir y lavar los contaminantes presentes durante la época de invierno. Esto se cumple a excepción del caño Morrocoy, que mantiene su calidad independientemente de la época del año, lo que se podría explicar por su condición mínima de afectación, ya que no recibe mayor carga de contaminantes en el tramo evaluado; a excepción de los fenoles. Encontrar fenoles en este tramo del caño Morrocoy fue un hallazgo inesperado, ya que en estudios anteriores, el estado conservado de los esteros que se encuentran en su área de influencia y la riqueza tanto en macroinvertebrados

acuáticos como en peces encontrada en el caño, demostraban una mínima afectación del mismo aguas arriba de la descarga de la Estación Sinco D. Es por esta razón que una de las recomendaciones de este estudio fue realizar una jornada de muestreo trimestral de al menos un año de duración, en los puntos M8 y M9 del caño Morrocoy, para confirmar la presencia de fenoles en ese tramo del caño.

En líneas generales, los resultados obtenidos están en sintonía con las caracterizaciones de la biota acuática en los cuerpos de agua del área de estudio, realizadas por el CIDIAT en el 2010 y por la REUNELLEZ en el 2002. Se concuerda en que los caños presentan una condición general de afectación alta; condicionada en parte por la práctica de la agricultura y la ganadería, actividades que han promovido una deforestación masiva en toda el área, donde apenas persisten unos pocos relictos boscosos en las riberas del caño El Barro. De igual manera, se mantiene que en los caños Jaboncillo y Morrocoy la riqueza, diversidad y abundancia de especies disminuye después de la descarga de efluentes de las Estaciones Flujo Silván y Sinco D respectivamente, pero tiende a recuperarse levemente en los puntos más alejados de la descarga. Es por esta razón que se recomienda ubicar las descargas de aguas residuales que tiene contemplada la RBSI sobre el caño El Barro, dado el actual nivel de afectación de sus aguas. Por el contrario, se recomienda no descargar sobre el caño Morrocoy a fin de mantener su estado conservado aguas arriba de la descarga de la Estación Sinco D (de ubicarse descargas sobre el caño Morrocoy, estas deberían localizarse aguas abajo de la descarga de la Estación de Flujo Sinco D).

Los ICA -sea cuales sean los criterios utilizados en su construcción- son una herramienta muy útil para comunicar información sobre la calidad del agua a las autoridades y al público en general, así como en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos, especialmente si la información se traduce en mapas que puedan dar una imagen espacial del estado del recurso. Es importante además, tratar de explicar el origen de la afectación de la calidad del agua ya que, tal como lo comprobamos en esta investigación, la elaboración y aplicación de cualquier índice es específica para cada región o fuente en particular, por lo que consideramos que es vital la identificación de la infraestructura existente dentro de las cuencas que descarguen efluentes sobre los cursos de agua en estudio, no solo para definir los sitios de muestreo más adecuados sino también para incluir ciertos parámetros críticos y específicos del sitio, al inferir el tipo de contaminantes que se pudieran estar descargando. Finalmente, se considera que la metodología presentada y aplicada en este caso particular fue adecuada y permitió el logro de los objetivos planteados en el estudio, y por lo tanto pudiera replicarse a casos similares.

Referencias

- Brown R, 1970, A water quality index-do we dare? *Water Sewage Works* 11: 339-343.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) 2005, Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses.
- Carabias J, Landa R, 2005, Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. UNAM, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. México DF, México.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) 2012, Application and Testing of the Water Quality Index in Atlantic Canada. Disponible en http://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/awi_en_posting.pdf. Fecha de consulta 12/08/2017.
- CIDIAT-ULA 2010, Estudio de Impacto Ambiental y Sociocultural del Proyecto "Refinería Batalla de Santa Inés". Barinas, Estado Barinas.
- CIDIAT-ULA 2011, Plan de desarrollo sustentable de los centros poblados: La Caramuca, Torunos, San Silvestre, Santa Inés y Santa Lucía, ubicados en el área de influencia de la Refinería Batalla Santa Inés, Estado Barinas.
- Espinosa C; Márquez K, 2014, Evaluación del impacto en la calidad del agua superficial del área de influencia de la Refinería Batalla de Santa Inés, Barinas, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería UCV*, 29(2), 51-60.
- Ferrara G; Najul M; Sánchez R, 2007, Calidad del recurso hídrico. UCV y CIDIAT-ULA.
- Galán P, 1999, Contaminación Petrolera Signos Universitarios, 18(35), 179-190.
- Mancilla G, Valdovinos C, Azócar M, Henríquez M, Figueroa R, 2009, Aproximación multimétrica a la evaluación de la calidad del agua en cuencas con niveles de intervención antrópica. *Interciencia*, 34(12), 857-864.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1976). GEMS: Sistema Mundial de Monitoreo del Ambiente. GEMS/Agua Guía Operacional. Ginebra, Suiza.
- Proyecto Fluoreciencia, 2012, Calidad del Agua. Universidad Distrital. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/index>.
- República de Venezuela. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto 883). Publicado en *Gaceta Oficial* No 5.021
- Reunellez 2002, Caracterización Ambiental de los Caños Jaboncillo, Morrocoy y Caribito. Convenio REUNELLEZ-PDVSA/PALMAVEN/BARINAS
- Samboni N; Carvajal Y; Escobar J, 2007, Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua, *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, 2017, Calidad del agua en México. Disponible http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/01_ambiental/agua.html. Fecha de consulta 12/10/2017.
- Storaci V; Fernández R; Smits G, 2013, Evaluación de la calidad del agua del río Cúpira (La Cumaca, estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. *Interciencia*, 38(7), 480-487
- Tchobanoglous G; Schroeder E, 1985, *Water Quality: Characteristics, modeling, modification*. Adisson-Wesley Publishing Company. MA, USA.
- Valcarcel L; Alberro N; Frías D, 2009, El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo*, 9(16), 1-5

Recibido: 20 de octubre de 2017

Aceptado: 15 de marzo de 2018

Ilija-Ojeda, Mónica: Ingeniero Civil (Universidad de los Andes, Venezuela, 2001). Beca Fulbright-OEA para la Ecología y el Ambiente para obtener el MSc en Ingeniería Ambiental y Certificado en Sustentabilidad (Michigan Technological University, USA, 2004). Coordinadora de Investigación y Profesor Agregado del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA).

Espinosa-Jiménez, Carlos: Ingeniero Civil (Intec, República Dominicana, 1981). MSc en Obras Hidráulicas (Universidad de los Andes, Venezuela, 1985). MEng en Ingeniería Sanitaria (IHE-Delft, Holanda, 1997). Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UNIVALLE, Colombia, 1999). Coordinador de Asistencia Técnica y Profesor Titular, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes (CIDIAT-ULA). Correo electrónico: caesji@ula.ve