

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
DEL AGUA MEDIANTE EL
ÍNDICE ICACOSU EN LA
MICROCUENCA LOS POZOS,
AQUITANIA**

**WATER QUALITY
ASSESSMENT USING THE
ICACOSU IN THE
MICROCUENCA LOS POZOS,
AQUITANIA**

**AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DA ÁGUA
USANDO O ICACOSU NA
MICROCUENCA LOS
POZOS, AQUITANIA**

Lizeth Sanabria Gutierrez

Ciencias e Ingeniería, Ingeniería
Ambiental, Universidad de Boyacá,
lsanabria@uniboyaca.edu.co

Yesica Tatiana Silva Cárdenas

Ciencias e Ingeniería, Ingeniería
Ambiental, Universidad de Boyacá,
ytsilva@uniboyaca.edu.co

Carlos Alberto Wilches Bonilla

ciencias e Ingeniería, Ingeniería
Ambiental, Universidad de Boyacá,
cawilches@uniboyaca.edu.co

Fecha de Recepción: 28 de febrero de 2019

Fecha aprobación: 16 de julio de 2019

Resumen

El estudio presenta el comportamiento del Índice ICACOSU a lo largo de la microcuenca Los Pozos – Aquitania y la influencia de las variaciones temporales sobre la calidad del agua de la misma, relacionándolas con las actividades antrópicas presentes en ella. Al evaluar la calidad del agua en la microcuenca Los Pozos- Aquitania, identificando la influencia de factores antropogénicas en el sistema por tal razón se utilizó el tipo de investigación descriptivo, que permite conocer la calidad del agua de la microcuenca en tres puntos representativos: nacimiento, estación hidrográfica el Criadero y desembocadura al lago de Tota; teniendo en cuenta la variabilidad de la precipitación, además se realizan dos ensayos de trazadores en dos tramos de la corriente para determinar el coeficiente de dispersión y el tiempo de viaje del trazador, como información adicional al estudio.

Palabras clave. Antrópico, Calidad del agua, ICACOSU parámetro.

Abstract

The study presents the behavior of the ICACOSU Index along the Los Pozos – Aquitaine microbasin and the influence of temporal variations on the water quality of the same, relating them to the anthropic activities present in it. When assessing the water quality

in the Los Pozos- Aquitaine microbasin, identifying the influence of anthropogenic factors on the system for this reason the type of descriptive research was used, which allows to know the water quality of the microbasin in three representative points: birth, hydrographic station the Criadero and mouth to Lake Tota; taking into account the variability of precipitation, two tracer tests are also carried out in two sections of the current to determine the dispersion coefficient and travel time of the plotter, as additional information to the study.

Keywords. Anthropic, Water Quality, ICACOSU parameter.

Resumo

O estudo apresenta o comportamento do Índice ICACOSU ao longo do Los Pozos - microbacia da Aquitania e a influência de variações temporais na qualidade da água do mesmo, relacionando-as às atividades antropográficas presentes nele. Ao avaliar a qualidade da água no microbacia Los Pozos- Aquitania, identificando a influência de fatores antropogênicos no sistema, por esta razão, o tipo de pesquisa descritiva foi utilizado, o que permite a qualidade da água da microbacia em três pontos representativos: nascimento, estação hidrográfica do Criadero e boca ao Lago Tota; tendo em conta a variabilidade da precipitação, dois testículos traçadores

também são em duas seções da corrente para determinar o coeficiente de dispersão e o tempo de viagem do plotter, como informações adicionais ao estudo.

Palavras chaves. Antropo, Qualidade da Água, parâmetro ICACOSU

Introducción

El lago de Tota es de vital importancia para el departamento de Boyacá y para el país ya que de él se abastecen varios acueductos veredales, el municipio de Sogamoso e Industrias como la empresa siderúrgica Acerías Paz del Río.

Además, es la fuente de abastecimiento para el riego de 3800 ha de cultivos de cebolla junca (principal actividad económica de la región) y la ganadería de la zona. Así mismo las aguas del lago de Tota son la base para el desarrollo de la piscicultura (cultivo de trucha) y el turismo en la región, debido a sus excelentes características ambientales y fisicoquímicas y a la belleza paisajística que ofrece la zona [1].

El presente estudio se realiza en la microcuenca Los Pozos, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Aquitania, en la provincia Sugamuxi, departamento de Boyacá. Los Pozos, nace en el páramo las alfombras a 3563 m.s.n.m siendo este un área protegida por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, CORPOBOYACA, ya que se considera uno de los afluentes más importantes del lago.

Por tal razón se observa la necesidad de determinar la calidad del agua en la microcuenca, por medio del índice ICACOSU, ya que este tipo de estudio no ha sido realizado y es pertinente conocer el estado de la microcuenca.

Materiales y métodos

Puntos de muestreo

Se realizaron tres campañas de muestreo, considerando el régimen de precipitación en la cuenca; en épocas de baja precipitación, transición y alta precipitación, en los meses de enero, febrero y marzo del año 2018, además se identificaron tres zonas de estudio, para cada una de las campañas de muestreo; dividiendo la microcuenca en zona alta, media y baja.

Tabla 1. Puntos de muestreo

| PUNTO | COORDENADAS- ALTIMETRIA | OBSERVACIÓN |
|-------------------------------|--|---|
| Nacimiento | N 5°33.603' y W 72°52.076' - 3184 msnm | Zona sin influencia antrópica |
| Estación Hidrológica Criadero | N 5°33.457' y W 72°52.802'-3020 msnm | Intervención humana aguas arriba |
| Desembocadura al Lago de Tota | N 5°33.413' y W 72° 52.939' -3019 msnm | Calidad con la que llega la microcuenca al Lago |

Fuente: Autor

La representación gráfica de estos puntos de muestreo se observan en la Figura 1.

Fig. 1. Puntos de muestreo.



Fuente: Autores

Toma de muestras

Se realizó muestreo de tipo integrado, a través de tres puntos a lo ancho del cauce, correspondientes a 1/4, 1/2 y 3/4 de la sección transversal de la microcuenca, teniendo en cuenta que se presenta un ancho entre 10 y 100 m, se determina que este tipo de muestreo es aplicable [2], para los parámetros fisicoquímicos, empleados en el Índice de Calidad de Corrientes Superficiales, ICACOSU, siendo estos pH, Conductividad eléctrica, Sólidos Suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Porcentaje de Saturación de Oxígeno; para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), es necesario preservar con una alícuota de ácido sulfúrico concentrado (2 ml de H₂SO₄ por un litro de muestra de agua) [3], para posteriormente ser refrigeradas y procesadas a nivel del laboratorio.

Las muestras para la determinación de Coliformes Fecales se tomaron de forma puntual en los tres puntos seleccionados previamente en la microcuenca, para ser almacenadas con recipientes inocuos y una

nevera exclusiva para este parámetro, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación que pueda alterar el comportamiento de la muestra.

Análisis de muestras

En campo se hizo la determinación de temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto, por medio del uso del multiparámetro portátil, los cuales se realizaron a lo ancho del cauce a 1/4, 1/2 y 3/4 de la sección transversal de la microcuenca, teniendo en cuenta los tres puntos de muestreo estipulados en la presente investigación.

En los laboratorios de ciencias químicas y microbiológicas de la Universidad de Boyacá sede Sogamoso, se determinó el análisis de Coliformes Fecales por el método del Número Más Probable de Coliformes (NMP) utilizando el Caldo Fluorocult LMX como medio [4], el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales (SST), se determinó por el método de secado a 103 a 105°C establecido por el IDEAM [5], la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se realizó mediante el método del dicromato llevado a Micro Digestión el cual consiste en el uso de un vial para DQO, el cual contiene oxidante fuerte (Dicromato de Potasio) en un medio ácido [6].

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se realizó según lo establecido en el protocolo del IDEAM incubación y electrometría [7], contando con la estandarización de una cepa bacteriana

determinada para condiciones reales de los laboratorios empleados, siendo esta un aporte de una alícuota de muestra de agua tomada del río Chicamocha sector Chámeza con coordenadas Norte 5° 45' 32" - Este 72°54' 32", mediante muestra puntual, cuya muestra fue preservada por método de refrigeración en un tiempo no mayor a 24 horas.

La determinación de caudales, se realiza por medio del método de aforo área/velocidad usando el molinete como equipo; teniendo en cuenta que es aplicable en canales abiertos y es accesible conocer la sección transversal de la corriente por donde fluye el agua.

Método de trazadores

Se realizan dos ensayos de trazadores a lo largo de la corriente, siendo el ensayo 1, el realizado en la zona más baja de la microcuenca y el ensayo 2, el realizado aguas arriba del primer ensayo; lo anterior, para evitar la posible alteración de los resultados a causa de la presencia del trazador. Para la determinación del caudal se realiza la medición de la velocidad de la corriente por medio del molinete y se identifica el área de la sección transversal usando la batimetría para conocer las profundidades del cauce, se determinaron los caudales en las estaciones del punto de inyección

Para los puntos de inyección y toma de muestra se escogieron dos tramos sin presencia de puntos de embalsamiento o retención hidráulica, y dos puntos de toma de muestra para cada ensayo. Se hizo la toma

de 63 muestras en el ensayo 1 y 184 muestras en el ensayo 2. Se estimaron los datos de entrada para introducir en el software Berkeley Madonna, al cual se le implementó con anterioridad el modelo matemático de dispersión axial, el cual permite conocer un tiempo de viaje teórico, que nos permite conocer los intervalos de tiempo de la toma de muestra en cada una de las estaciones.

Cada muestra recolectada es analizada por medio de Aquafluor™ fluorómetro portátil, para determinar la concentración de Rodamina, siendo este el trazador empleado en el presente estudio, luego esta información es tabulada para calcular el tiempo de viaje y el coeficiente de dispersión.

Identificación de actividades antrópicas

La identificación de las actividades antrópicas aledañas a cada tramo estudiado, se realiza mediante recorridos de campo y protocolos de observación, de donde por medio de fichas se describe cada actividad relacionada con la dinámica de la microcuenca en estudio. Los factores antrópicos de variabilidad estacional pueden incidir de manera directa e indirecta en los parámetros físico-químicos. Lo anterior se validó con la descarga e interpretación de imágenes satelitales.

Metodología

Índice de calidad del agua de corrientes superficiales (ICACOSU).

El Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales más conocido como el IDEAM junto con el Centro de Investigaciones en Hidroinformática [8] establece la utilidad del Índice ICACOSU para valorar la calidad del agua de cuerpos superficiales en Colombia, el Índice de calidad del agua ICACOSU reduce grandes volúmenes de datos en campo a un simple valor numérico de cero a uno y se clasifica según la calidad del agua en orden ascendente en una de las cinco categorías siguientes: muy malo, malo, medio, bueno y excelente. El índice tiene en cuenta los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes fecales.

El Índice ICACOSU considera el nivel de oxígeno, que involucra a su vez, variables que denotan procesos de óxido-reducción de la materia orgánica, como lo son las demandas de oxígeno, tanto bioquímica como química y otra corresponde a las sustancias disueltas, en la que se estiman tres procesos diferentes, uno de ellos la mineralización representada tan solo en la conductividad. Adicionalmente, ICACOSU completo contempla a las coliformes fecales como la única variable que representaría los aspectos relativos a la salud [9]

Cada una de las fórmulas descritas a continuación, fueron expuestas por el IDEAM. La fórmula principal para la obtención del Índice de calidad del agua de corrientes superficiales (ICACOSU), es la siguiente:

$$ICACOSUg=ICACOSUfa*0.8+ILCAG*0.2 \quad (1)$$

La cual consta de dos componentes: el primero se denomina ICACOSU fisicoquímico agregado y el segundo, un componente debido al caudal.

ICACOSUg: Es el Índice de calidad del agua de corrientes superficiales (ICACOSU).

ICACOSUfa: Es el índice agregado de calidad fisicoquímica para las mismas corrientes.

ILCAG: El índice lótico de capacidad ambiental generado por Ramírez y Viña correspondiente a:

$$ILCAG=0.333*\text{Log}(\text{Caudal}) \quad (2)$$

El índice ICACOSU tiene unas categorías de calidad determinada por valores de 0 a 1, de igual forma se representa por código cromático, como se observa a continuación:

Tabla 2. Categorías de clasificación ICACOSU

| Categoría | Rango | Escala de color |
|-----------|-----------|---|
| Muy malo | 0-0,25 |  |
| Malo | 0,26-0,50 |  |
| Medio | 0,51-0,70 |  |
| Bueno | 0,71-0,90 |  |
| Excelente | 0,91-1 |  |

Fuente: IDEAM

Formulación de variables o subíndices. A continuación, se presentan las fórmulas de los diferentes subíndices:

Subíndice Escherichia Coli.

$$\begin{aligned} \text{Si } EC < 50/100 \text{ mL entonces } ICF &= 0.98 \\ \text{Si } 50/100 \text{ mL} < EC < 1600/100 \text{ mL} \\ \text{Entonces } IEC &= 0.98 * \\ e((EC-50)*(-9.917754E-4)) &(3) \\ \text{Si } EC > 1600/100 \text{ mL entonces } IEC &= 0.10 \end{aligned}$$

Subíndice de Porcentaje De Saturación De Oxígeno Disuelto

$$I\%satOD = 1 - (1 - 0.01 * \%Saturación \text{ de } OD) \quad (4)$$

Cuando él % de saturación de OD > 100%

$$I\%satOD = 1 - (0.01 * \%Saturación \text{ de } OD - 1) \quad (5)$$

Subíndice Sólidos Suspendidos.

$$\begin{aligned} ISST &= 1 - (-0.02 + 0.003 * SST \text{ mg/L}) \\ (6) \\ \text{Si } SST < 4.5, \text{ entonces } ISST &= 1 \\ \text{Si } SST > 320, \text{ entonces } ISST &= 0 \end{aligned}$$

Subíndice Demanda Bioquímica de Oxígeno.

$$\begin{aligned} IDB05 &= 1(-0.05 + 0.70 \text{ Log}10 \text{ DB}05) \\ (7) \\ \text{Para } DB05 > 30 \text{ mg O}_2/\text{L} \text{ tienen } IDB05 &= 0 \\ \text{Para } DB05 < 2.0 \text{ mg O}_2/\text{L} \text{ tienen } IDB05 &= 1 \end{aligned}$$

Subíndice Demanda Química de Oxígeno.

$$IDQO = [(0.558 + 0.009 * DQO)(-1/0.1273)]/100 \quad (8)$$

Subíndice Conductividad Eléctrica.

$$ICond = 1 - 10(-3.26 + 1.34 \text{ Log}10 \text{ Conductividad}) \quad (9)$$

Cuando $ICond < 0$ (negativo),
Entonces $ICond = 0$

Subíndice de pH.

Si $pH < 4$ entonces $IpH = 0.10$

Si pH está entre 4 y 7 entonces
 $IpH = 0.02628419 * e(pH - 0.520025)$

Si pH está entre 7 y 8 entonces $IpH = 1$

Si pH está entre 8 y 11 entonces
 $IpH = 1 e((pH-8) * -0.5187742)$
(10)

Si $pH > 11$ entonces $IpH = 0.10$

Método de trazadores

El método de trazadores busca calcular la dispersión para esto es necesario calcular, el modelo matemático de dispersión axial es necesario conocer un coeficiente de dispersión teórico según McQuivey se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$E = 0.05937 \frac{Q}{S * B}$$

Siendo,

Q : Caudal [L³ / T]

S : Pendiente del terreno [-]

B : Ancho de la corriente [L]

Donde S

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Siendo,

ΔH : Es la diferencia de alturas

L : Distancia entre los puntos

Se adiciona como dosis instantánea el trazador en las estaciones cero, usando Rodamina ya que es de baja toxicidad para los organismos a concentraciones mayores de 10 ppm, por lo que organizaciones reguladoras como la USEPA y la comunidad Europea (a través de la AESA) han establecido que este trazador no es tóxico para el ambiente[10] se tendrá un cronómetro por estación incluyendo la estación cero para llevar el tiempo inicial del ensayo y los tiempos de toma de la primera muestra en la estación uno y en la estación dos, así como la duración total del ensayo.

Cada muestra recolectada es analizada por medio de Aquafleur™ fluorómetro portátil, para determinar la concentración de Rodamina, luego esta información es tabulada para calcular el tiempo de viaje y el coeficiente de dispersión, por medio de una serie de fórmulas:

Tiempo medio de tránsito para la estación 1:

$$\bar{t}_1 = \frac{\sum t_i * C_i}{\sum C_i}$$

t_i :Tiempo relativo a la primera observación de estaciones

La variación de la curva concentración-tiempo estación 1:

$$\sigma_{t,1}^2 = \frac{\sum (t_i - \bar{t}_1)^2 * C_i}{\sum C_i}$$

Tiempo medio de tránsito para la estación 2:

$$\bar{t}_2 = \frac{\sum t_i * C_i}{\sum C_i}$$

t_i :Tiempo relativo a la primera observación de estaciones

La variación de la curva concentración-tiempo estación 2:

$$\sigma_{t,2}^2 = \frac{\sum (t_i - \bar{t}_2)^2 * C_i}{\sum C_i}$$

La velocidad media en cada tramo se calcula con:

$$\bar{u} = \frac{x}{\bar{t}_2 - \bar{t}_1}$$

Dónde:

x :Distancia entre las estaciones [L]

$$E = \frac{\bar{u}^2}{2} \left[\frac{\sigma_{t,2}^2 - \sigma_{t,1}^2}{\bar{t}_2 - \bar{t}_1} \right]$$

Dónde:

E :Coeficiente de dispersión [L²/T]

$\sigma_{t,2}^2, \sigma_{t,1}^2$:Varianza de la curva concentración-tiempo [t²]

\bar{t}_2, \bar{t}_1 : Tiempo medio de tránsito de la nube de trazador en cada estación [t]

\bar{u} : Velocidad media entre las estaciones

[L/T]

Fig. 2. Estación 1.0 Inyección del trazador



Fuente: Autores.

Resultados

Trazadores

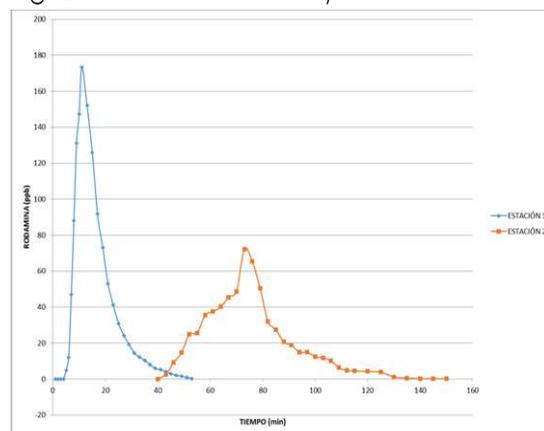
Se realizan dos ensayos de trazadores, en dos tramos diferentes de la microcuenca estudiada aguas abajo (ensayo 1) y aguas arriba (ensayo 2), de los cuales se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados en el ensayo 1.

| | |
|--|---------|
| Velocidad (m/min) | 1.835 |
| Coefficiente de dispersión (m ² /min) | 5.697 |
| Tiempo de viaje (min) | 59.942 |
| Q=(m ³ /s) | 0.00734 |
| Q=(L/s) | 7.340 |

Fuente: Autor

Fig. 3. Resultado del ensayo 1 de trazadores



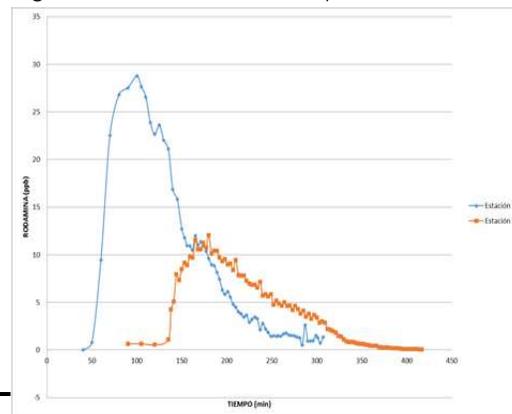
Fuente: Autor

Tabla 4. Tamaños de la letra empleada en esta Plantilla.

| | |
|--|--------|
| Velocidad (m/min) | 3.104 |
| Coefficiente de dispersión (m ² /min) | 3.304 |
| Tiempo de viaje (min) | 67.643 |
| Q=(m ³ /s) | 0.0069 |
| Q=(L/s) | 6.933 |

Fuente: Autor

Fig. 4. Resultado del ensayo 1 de trazadores

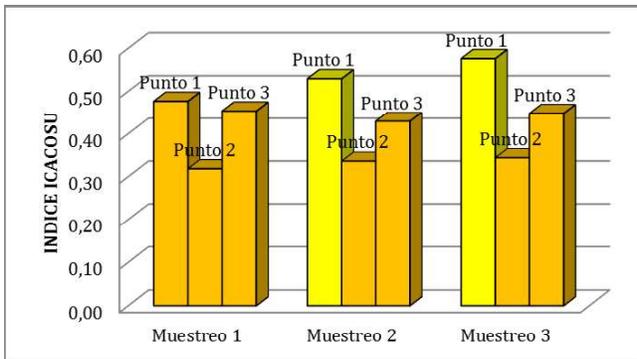


Fuente: Autor

Índice ICACOSU

Con el propósito de identificar la influencia de la variación temporal en el estado de la microcuenca Los Pozos, se realizan muestreos en tres temporadas del primer semestre del año, obteniendo información del índice en cada uno de los tres puntos de cada campaña de monitoreo, lo que se evidencia en la siguiente figura:

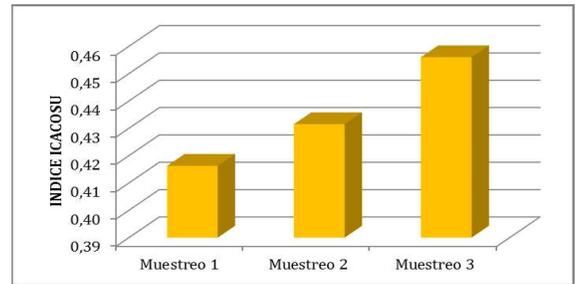
Fig. 5. Índice ICACOSU en cada uno de los puntos y muestreos.



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados de las campañas de muestreo, se pudo obtener un valor de calidad para cada una de las campañas de monitoreo, lo cual se muestra en la siguiente figura:

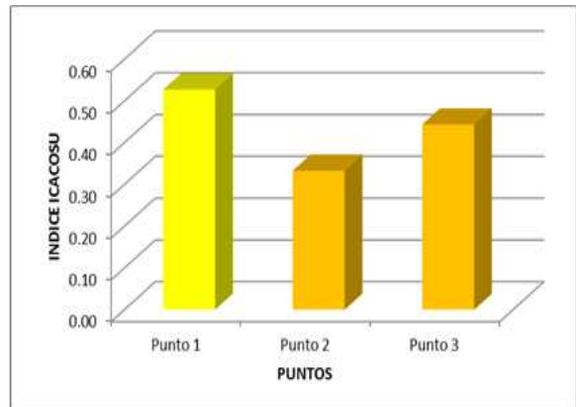
Fig. 6. Índice ICACOSU en cada uno de los muestreos.



Fuente: Autor

Con base en los resultados se puede evidenciar la calidad en cada uno de los puntos muestreados, como lo muestra la siguiente figura:

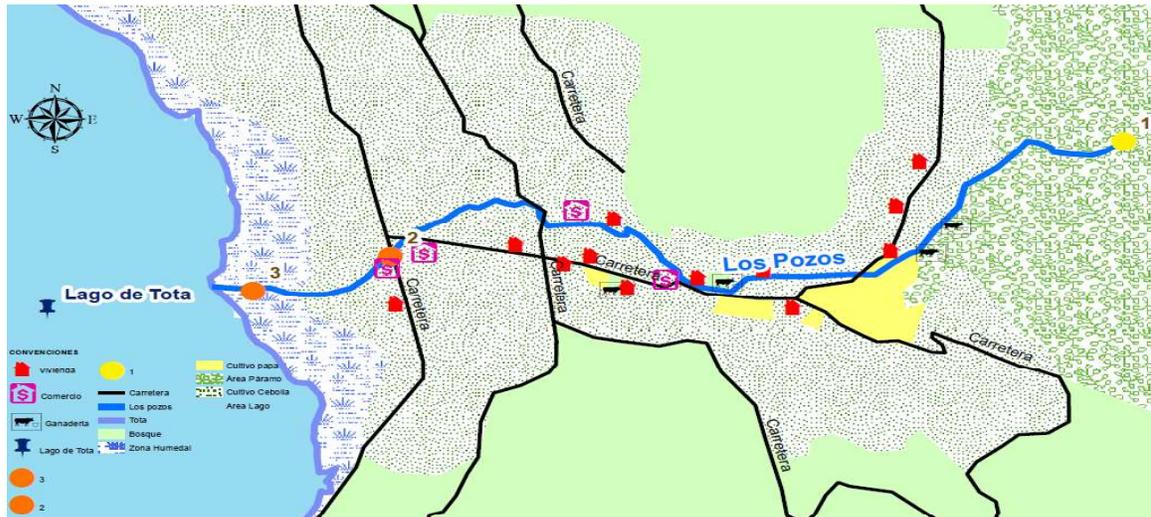
Fig. 7. Índice ICACOSU en cada uno de los puntos.



Fuente: Autor

Con base en los resultados obtenidos en el Índice ICACOSU por puntos se realizó el siguiente mapa en el que se muestra el recorrido de la Microcuenca Los Pozos, la calidad de cada uno de los puntos y las actividades antrópicas aledañas:

Fig. 8 Actividades antrópicas a lo largo de la Microcuenca Los Pozos



Fuente: Autor

Discusión

En la Figura 2 se obtienen dos curvas del paso del trazador ya que se cuenta con dos estaciones de medición del trazador, se puede apreciar que la curva de la estación 2 (Naranja) presenta una mejor dispersión de la concentración, debido a que está más abierta con respecto al tiempo. Mientras que en la Figura 3, se obtienen dos curvas del paso del trazador donde se puede apreciar que el comportamiento y la tipificación de las curvas se deben al comportamiento hidrodinámico y morfométricos de la corriente en este tramo, traducido en estancamientos de agua.

El consolidado final del presente estudio permite

conocer el comportamiento del ICACOSU, de donde se observa que el punto 2, en todos los muestreos presenta el menor valor del índice, es decir el punto de menor calidad con respecto a los demás estudiados, esto se presume es por la alta presencia de actividades como agricultura y ganadería presentadas aguas arriba del punto de muestreo, debido al alto valor de materia orgánica y los resultados obtenidos en cada una de las variables del Índice ICACOSU. En el transcurso del punto 2 al punto 3, no existe intervención antrópica representativa; pero se evidencia alta vegetación especialmente de juncos (Ver Figura 4), los que actúan como humedales naturales, explicando el aumento de la calidad del agua en el punto 3, ya que la

vegetación con sus tallos, hojas sumergidas y raíces sirven como medio de soporte de crecimiento bacteriana permitiendo remociones altas de DBO, SST, nitrógeno, metales y patógenos (Coliformes Fecales) [12], también influye el tiempo de retención ya que se evidencia un estancamiento en la corriente del agua antes de llegar al lago de Tota.

Según la Figura 5, se observa como la precipitación se comporta como una variable significativa, en la calidad del agua en la microcuenca; ya que el aumento de ésta tiende a ser directamente proporcional al aumento de la calidad del agua mostrada en los tres puntos evaluados; sin embargo, este nivel de precipitación no fue suficiente para aumentar el rango de la categoría ya que sigue siendo mala. La precipitación influye en las concentraciones de variables como: DBO5, DQO y SST; ya que tienden a disminuir a una mayor presencia de esta, cabe destacar que en el punto 3 del último muestreo la DQO y la DBO5 aumentaron, debido a la alta presencia vegetal en la corriente.

Con base en las tres campañas de monitoreo y el valor del ICACOSU en cada uno de los tres puntos de muestreo, se observa como el punto 1 (Ver Figura 6), es decir el nacimiento presenta la mejor calidad con respecto a los demás puntos estudiados, considerando que esta área es la menos intervenida por la población con actividades como: agricultura, comercio y ganadería. Con lo relacionado al punto 2, se evidencia la peor calidad del agua pues es en el que las actividades antrópicas realizan su mayor presencia y por tanto un impacto mayor

en la calidad del agua. En cuanto al último punto, se observa como el agua intenta depurarse antes de llegar al Lago de Tota, por medio del humedal natural que se presenta, siendo insuficiente para mejorar su categoría de mala calidad.

El impacto que genera la actividad agrícola en el deterioro de la calidad del agua se ve reflejada en la presencia de sedimentos suspendidos, en su mayoría provenientes de la erosión de suelos siendo este tipo de actividad la que mayor impacto causa en la calidad del agua [12]; el cultivo de cebolla requiere mayor cantidad de agua y a la vez emplea gran cantidad de gallinaza fresca y seca como abono [13]; lo cual está asociado con la escorrentía hacia la microcuenca Los Pozos, contribuyendo a la contaminación por materia orgánica lo que se relaciona con el estudio de las variables de DBO y DQO. Al hacer uso del agua de Los Pozos para riego de cultivos se está generando un riesgo debido a que se evidencia presencia de E. Coli en el punto 2, siendo este en el que se realizan las principales actividades agrícolas, afectando la inocuidad de los productos generados a partir de estos cultivos [14]

Con respecto a la ganadería e intensidad del sobrepastoreo, se observa la afectación en la densidad del suelo, con el incremento del pisoteo, de tal forma que, al ocurrir una lluvia o riego, la capacidad de almacenamiento del suelo es superada fácilmente, e inevitablemente ocurrirá arrastre de nutrientes por efecto de la escorrentía y lixiviación a las fuentes de agua [15]. Los niveles de coliformes totales y fecales

encontrados en el recurso hídrico reflejan materias fecales de ganado y mascotas.

La presencia de vertimientos domésticos genera un aporte de carga de materia orgánica y microorganismos que terminan en la microcuenca sin ningún tratamiento. El pH se puede ver afectado por los vertidos de aguas residuales y el tipo de rocas que forman el lecho de la masa de agua estudiada [16]

Conclusiones

La microcuenca Los Pozos indican que como afluente del Lago de Tota presenta una capacidad muy baja de asimilación de las cargas contaminantes generadas, ya que presenta caudales menores a 1 m³/s, según el Índice Lótico de Capacidad Ambiental General establecido por el IDEAM, esto debido a las captaciones constantes, ya que representa el 20% de agua de las captaciones del área de la cuenca del Lago de Tota y no existe una estimación del índice de Usos del Agua (IUA) presentes en la microcuenca, además presentando una baja dispersión, lo que hace que la mezcla de los contaminantes en el agua no sea representativa, debido a la geometría de la corriente, la cual provoca embalsamientos.

De acuerdo al Índice ICACOSU se observa que el recurso hídrico posee una calidad del agua media (Punto 1) antes de recibir la intervención antrópica y por tanto las aguas residuales de la población, la entrada de estas aguas al cauce van degradando la calidad paulatinamente hasta llegar a un estado de mayor contaminación, dándole una categorización de mala calidad a dicha agua. A medida que la

corriente de agua se aleja de las intervenciones de la población esta tiende a auto depurarse, sin embargo, esto no es suficiente ya que al arribar al lago de Tota llega con una mala calidad, lo cual se evidencia en cada una de las campañas de monitoreo ocasionando posiblemente afecciones a la calidad del agua del Lago de Tota.

El comportamiento del índice ICACOSU, se destaca por presentar una alteración debido a las actividades antrópicas presentes en el terreno cercano a la microcuenca estudiada; el cual se demuestra en el cambio de la calidad que existe del punto 1 al punto 2 y su perturbación en los diferentes parámetros analizados; ya que en el punto 1 se encuentra una calidad media y en el transcurso al punto dos las actividades antrópicas son más evidentes, lo que influye en que la calidad del punto 2 sea mala y la peor de los puntos estudiados; esta calidad puede estar relacionada con la presencia de materia orgánica expresada en valores de DBO₅ y DQO, de la carga polucional que pueden generar los desechos domésticos de carácter orgánico y debido al uso excesivo de gallinaza en la agricultura, de igual forma con la presencia de Coliformes tanto Fecales como Totales en la microcuenca, debido a las heces fecales de humanos y de los animales.

La variación climática, relacionada con la precipitación, es un factor que influye en la calidad de la microcuenca Los Pozos, debido al aumento de caudal en la corriente; para el semestre del presente estudio, logró que en el punto 1 de muestreo, mejorará relativamente la

calidad, dándole una categoría de calidad media, aunque no fue suficiente ya que la presión antrópica que soporta este cuerpo de agua es significativo, y en los demás puntos de muestreo presentó las mismas condiciones en las tres campañas de monitoreo.

La agricultura es la actividad humana que se realiza con mayor proporción en el área de la microcuenca Los Pozos, teniendo en cuenta que el sector productivo con mayor rentabilidad es el cultivo de cebolla larga, sin embargo las prácticas agrícolas realizadas no son las mejores, ya que ni la ronda hídrica de la microcuenca y ciertos espacios de las viviendas (Patios) no es una limitante para la implementación y expansión del cultivo, no obstante también se evidencia que el uso de fertilizantes, fungicidas e insecticidas es intensivo para lograr asegurar los niveles de producción esperados, además de la gallinaza que es usada como fuente de materia orgánica en altas cantidades, la presión de la producción de cebolla larga está aumentando el impacto sobre el uso del agua y del suelo, teniendo en cuenta el alto requerimiento de agua usada para estos cultivos y la tendencia al establecimiento de monocultivos.

Por medio de la presente investigación se evidencia que en el punto 1 de la microcuenca Los Pozos, siendo el lugar de captación, hay presencia de Coliformes Totales en el último muestreo, la presencia de coliformes totales en reservas de agua puede revelar una proliferación y posible formación de biopelículas, o bien contaminación por la entrada de materias extrañas, como tierra o

plantas.

Referencias

[1]. PEER. Impactos del cambio climático en la dinámica hidrológica de lagos y ciénagas de Colombia. Recuperado el 18 de abril de 2018, de http://peerlagoscolombia.udea.edu.co/lakes/documents/Preliminary_Tota.pdf.

[2] IDEAM. (2010) Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y aguas subterráneas. Recuperado el 13 de agosto 2017, de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad//gui-a-para-el-monitoreo-de-vertimientos-aguas-superficiales-y-aguas-subterranas>.

[3] Gaitán, M. (2004). Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de azida. Recuperado el 10 de abril del 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>

[4] APHA. (2012.) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (22th ed). Washington: American Public Health Association.

[5] IDEAM. (2007) Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. Recuperado el 17 de abril de 2017, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+a>

guas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c

[6] Crespi M y Huertas, J. (1986) Determinación simplificada de la demanda química de oxígeno por el método del dicromato. Boletín Intexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial. 89, 89.

[7] IDEAM. (2007). Demanda Bioquímica de Oxígeno – 5 días, incubación y electrometría Recuperado el 17 de abril de 2017, de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>.

[8] IDEAM. Informe final. (2007). Recuperado el 17 de abril de 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbibliobvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>

[9] IDEAM. Informe final. (2007). Recuperado el 17 de abril de 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbibliobvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>

[10] BENTOS. (2007). Servicios y Equipos Marinos LTDA. Informe Técnico. Metodologías Utilizadas en Estudios de Dispersión: Elección del mejor trazador químico. Recuperado el 14 de abril de 2018, de http://www.bentos.cl/archivos/Uso_de_Rodamina.pdf

[11], Marín, J y Correa, J. (2010). Evaluación de

la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth. Trabajo de grado Tecnología Química. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de tecnología química, 100.

[12], Mitchell, M. (1993). Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitoreo de calidad de agua en el Río Bravo. (3th ed). USA. Global Rivers Environmental Education Network.

[13]Ramírez, A y Paeres, A. (2005). Caracterización fisicoquímica del Lago de Tota y sus principales tributarios. Recuperado el 23 de abril de 2018, de:

<http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostico-caracterizacion-fisico-quimica-lago-tota.pdf>

[14] Corpas, E y Herrera, O. (2012, junio). Reducción de coliformes y *Escherichia Coli* en un sistema residual lácteo mediante microorganismos benéficos. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 10, 67-76.

[15] Vidal, M; López, A; Santoalla, M y Valles, V. (2000, junio). Factor analysis for the study of water resources contamination due to the use of livestock slurries as fertilizer. Agricultural Water Management. 45, 1-15.

[16] VARIABLE. Descripción de indicadores. Recuperado el 23 de abril de 2018, de <http://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-pH%20f.pdf>