

Capacidad auto depurativa del río Carrizal sobre efluentes de la laguna de oxidación. Calceta

Self-purifying capacity of the Carrizal River on effluents from the oxidation lagoon. Calceta

Jesús Yardhel Menéndez Vera ¹, José Alfredo Flores Pinargote ², Patricio Javier Noles Aguilar³, Carmelo Joffre Menéndez Cevallos⁴, Verónica Dayana Espinel Pino⁵

Recibido: 12/02/2021- Aprobado: 14/12/2021 – Publicado: 30/06/2022

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo identificar la capacidad de autodepuración de la materia orgánica del río Carrizal, factor que influyen en su calidad, iniciando desde el punto de descarga de aguas residuales de la laguna de oxidación en la ciudad de Calceta hasta la planta potabilizadora de agua "La Estancilla. Donde se realizó varios monitoreos y análisis como caudal, pH, temperatura, oxígeno disuelto y materia orgánica, mediante el Protocolo de Monitoreo de los Recursos Hídricos del Perú, tomándose 4 puntos antes, durante y después de la descarga de las aguas residuales domésticas, con una muestra en un punto blanco como referencia, tomándose en época de estiaje del 2019 (septiembre, octubre y noviembre). Para la definición de estos puntos se realizó un levantamiento de información de la zona estudio, con el software ArcGis v10.4.1 mediante un mapa georreferenciado con las ubicaciones de los muestreos. En los laboratorios de química ambiental de la ESPAM "MFL" se analizó materia orgánica (DBO5), en donde se utilizaron un potenciómetro Martini pH 55 y oxímetro Milwaukee MI-605 (in situ). Luego se tabulo los datos en el software de Excel v14.0 con el modelo Streeter-Phelps proyectándose la autodepuración del río Carrizal en 23,76% de materia orgánica (DBO), desde el punto de mezcla con la descarga hasta los 9000 metros con disminución de 7,28 mg/l a 5,52 mg/l.

Palabras claves: autodepuración; calidad de agua; materia orgánica; oxígeno disuelto; Streeter and Phelps.

ABSTRACT

The objective of this research is to identify the self-purification capacity of the organic matter of the Carrizal River, factors that influence its quality, starting from the point of discharge of wastewater from the oxidation pond in the city of Calceta to the water purification plant "La Estancilla. Several monitoring and analyses were performed, such as flow, pH, temperature, dissolved oxygen and organic matter, using the Protocol for Monitoring Water Resources of Peru, taking 4 points before, during and after the discharge of domestic wastewater, with a sample at a white point as a reference, taken during the low water season of 2019 (September, October and November). For the definition of these points, an information survey of the study area was carried out with ArcGis v10.4.1 software using a georeferenced map with the sampling locations. Organic matter (BOD5) was analyzed in the environmental chemistry laboratories of the ESPAM "MFL" using a Martini pH 55 potentiometer and Milwaukee MI-605 oximeter (in situ). The data was then tabulated in Excel v14.0 software with the Streeter-Phelps model, projecting the self-purification of the Carrizal river by 23.76% of organic matter (BOD), from the point of mixing with the discharge up to 9000 meters, with a decrease from 7.28 mg/l to 5.52 mg/l.

Keywords: self-purification; water quality; organic matter; dissolved oxygen; Streeter and Phelps.

- 1 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL).
E-mail: jesus.menendez@espam.edu.ec - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7434-3554>
- 2 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL).
E-mail: jfloresp3442@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8416-0826>
- 3 Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí (ESPAM MFL).
E-mail: pnoles@espam.edu.ec - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0490-0535>
- 4 Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
E-mail: mcarmeloyoffre@yahoo.es - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7618-9856>
- 5 Universidad Técnica de Manabí.
E-mail: veronica.espinel@utm.edu.ec - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7604-7599>

I. INTRODUCCIÓN

Alrededor de 25% de los ríos de América Latina están muy contaminados con agentes patógenos, relacionados principalmente con aguas residuales no tratadas. Hasta 25 millones de personas corren riesgo de contraer enfermedades relacionadas con la contaminación (Ambrus Steven, 2016). En el Ecuador cuatro Ríos están gravemente contaminados "Machángara, Guayllabamba, Esmeraldas y Guayas" algunos de ellos tienen tramos declarados biológicamente muertos (el Universo, 2009).

II. MÉTODOS

2.1 Localización

La presente investigación se la ejecutó en las aguas del río Carrizal, ubicado en el cantón Bolívar, provincia de Manabí. El río Carrizal tiene su nacimiento en las montañas del cantón Bolívar, este es el principal recurso hídrico del cantón y sustento vital de la biodiversidad de la microcuenca de este, tiene su desembocadura en las aguas del río Chone donde se convierte en la mayor cuenca hidrográfica de la provincia.

Para resultado de la investigación se escogió la ciudad de Calceta que tiene un área de 650 km², la misma que posee un clima cálido seco con temperaturas aproximadas de 26°C, donde el río Carrizal realiza su recorrido hasta en lugares como la planta de tratamiento de agua potable La Estancilla. La ciudad se caracteriza por ser la cabecera cantonal y la única parroquia urbana donde prevalecen más las viviendas, el comercio y la agricultura cerca del afluente.

2.2 Georreferenciación de la zona de muestreo

Una vez que se instauraron los puntos de muestreo, se continuó con lo señalado en el protocolo de monitoreo cada punto de muestreo se describió acotando lo siguiente: código del punto de muestreo, las coordenadas datum ws84, el nombre y la descripción del lugar. Posterior a esto se efectuó la georreferenciación de cada punto de muestreo utilizando el software de sistemas de información geográficas ArcGis en su versión 10.5, el cual permitió recopilar, organizar y distribuir la información geográfica de la zona de muestreo representándola por medio de un mapa satelital hidrológico, lo cual ayudó a obtener la información cartográfica para la ejecución del estudio.

2.3 Determinación de los parámetros fisicoquímico (DBO5, oxígeno disuelto, pH, temperatura y caudal) en el río carrizal del cantón Bolívar

Los parámetros fisicoquímicos se basaron a lo establecido por (Zúñiga Torres, 2014) y el modelo matemático de (Streeter, & Phelps, 1927) que son las variables que influyen en la autodepuración de materia orgánica. La toma de los parámetros se realizó en la época seca de acuerdo con lo establecido por (Reinoso Chisaguano, 2015) en un periodo de 10 semanas, que correspondieron a los meses de estiaje del río.

La frecuencia de las tomas se basó de acuerdo con (ANA, 2011)

El oxígeno disuelto, el pH y la temperatura se tomaron directamente in situ dentro de las zonas de estudio mediante el método electroquímico de acuerdo con la norma técnica INEN 2169:2013

La DBO5 se realizó en el laboratorio de química ambiental de la ESPAM MFL donde las muestras de agua se incubaron a 20 °C con hidróxido de sodio por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO5 se determinó electrónicamente por medio de analizadores de DBO5 Oxitop que comparan el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra luego de la incubación en cinco días. La diferencia de los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica de la muestra.

2.4 Realización del modelado de la capacidad auto depurativa del río Carrizal a través de un modelo matemático

Luego de obtener toda la información de campo de los parámetros fisicoquímicos del río se procedió a la creación de una base de datos utilizando el software de Excel, en donde se permitió de una manera organizada disponer de todos los datos necesarios para poder evaluar la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río Carrizal.

Posteriormente, luego de disponer la base datos, a través del software de Excel se procedió a la elaboración del modelo matemático planteado por (Streeter, & Phelps, 1927), para su aplicación se utilizaron diferentes variables de las condiciones del río y la descarga en época de estiaje como DBO5, OD, temperatura, caudales y velocidades, tal como como lo indica (Zúñiga Torres, 2014).

Para el desarrollo del modelo se utilizaron los valores semanales de cada mes de las variables del río y se registraron las diferentes ecuaciones.

- a. Ecuación del balance general
- b. Constante de desoxigenación
- c. Correcciones de constantes
- d. Déficit inicial de oxígeno disuelto
- e. Modelación de la DBO
- f. Déficit de oxígeno disuelto
- g. Representación de OD a x distancia
- h. Tiempo crítico
- i. Distancia crítica
- j. Déficit crítico
- k. Oxígeno disuelto crítico
- l. Porcentaje de remoción de DBO5

Luego se representaron gráficamente los resultados de los valores promedios mensuales del comportamiento del oxígeno disuelto en función de la descarga de

las lagunas de oxidación, lo cual permitió conocer la capacidad autodepurativa de materia orgánica del río Carrizal (Figura 1).

II. RESULTADOS

Se instauraron 6 puntos de muestreos, base acorde con Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA, 2011) que se determinaron una vez ubicado el lugar de las descargas de los efluentes, los cuales se denominaron de acuerdo con el sitio donde se encontraron ubicados (Tabla 1).

Se establecieron 5 puntos de muestreo complementarios de acuerdo con lo establecido por (Zabaleta Villanueva, 2016). Los puntos se instauraron aguas abajo del lugar de

la descarga de los efluentes a distancias de: 2km ubicado en el sitio "Puente ESPAM", 4 km registrado en el sitio "la pastora", 5 km y 6 km situado en la comunidad "Figueroa" y a 8 km situado en el sector "Loma Estancilla".

Se puede distinguir en la Tabla 2 el punto que más sobre sale es el de descarga ya que tiene el máximo de las concentraciones 195 mg/l en promedio en el mes de noviembre, se indica la falta de mantenimiento de las lagunas de oxidación de la ciudad de Calceta como principal problema, ocasionando el aumento de los valores de DBO5 en el punto de mezcla y los puntos de monitoreo 1, 2 y 3.

La Tabla 3 muestra los valores del potencial de hidrogeno de río Carrizal con un mínimo de 6,24 y un máximo de 8,09 considerándose como un pH neutro.

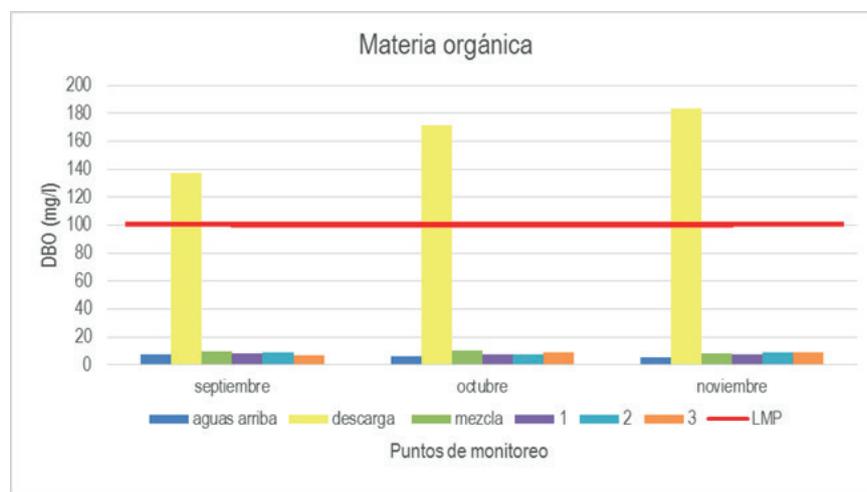


Figura 1. Promedios mensuales de DBO en el río Carrizal.

Tabla 1. Criterios de puntos de muestreo a partir de las actividades productivas

Código	Coordenadas		Distancia	Sitio
	Este	Norte		
C1	591259	9908543	2km	Puente ESPAM
C2	590002	9908178	4km	Figueroa
C3	589222	9907931	5km	Figueroa
C4	589014	9908838	6km	Figueroa
C5	589098	9908646	8km	Loma Estancilla

Tabla 2. Valores de la (DBO₅) en el Río Carrizal

Mes	Semana	LMP mg/l	Aguas Arribas	Descarga	Punto de Mezcla	P1	P2	P3
Septiembre	1	100	9	193	12	9	10	9
	2	100	7	180	12	10	10	8
	3	100	5	80	6	5	5	5
	4	100	10	95	10	9	10	5
Octubre	5	100	4	105	6	2	2	8
	6	100	9	199	13	10	9	9
	7	100	6	210	13	10	11	10
Noviembre	8	100	5	170	7	8	9	8
	9	100	5	185	9	7	8	9
	10	100	6	195	9	8	9	10

Estos valores reportados están de acuerdo con los límites máximos permisibles ya que se encuentran dentro del rango de 6 a 9 en lo establecido en la Tabla 3 Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del Registro Oficial 061, reforma del libro VI del TULSMA.

En la Tabla 4 se muestran los valores de oxígeno disuelto tomados en las 10 campañas. Se observa los valores máximos encontrados durante el estudio, el cual se presenta en la semana 3 en el mes de septiembre con valores de hasta 5,2 mg/l en el punto 1 y de 2,9 mg/l en el lugar de la descarga durante el periodo. Los valores mínimos se establecieron durante la semana 7 en el mes de octubre registrándose hasta 2,7 mg/l en los puntos mezcla y 2 de monitoreo; de 1,3 en el lugar de la descarga durante

el mismo periodo. Se muestra que los valores identificados en todos los puntos están por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que el estándar es 5 mg/l.

La Tabla 5 muestra los valores de la temperatura en grados Celsius de las aguas del río Carrizal y de la descarga de los efluentes de las lagunas de oxidación de Calceta. Se observa que la temperatura más alta registrada se encontró en los efluentes de la laguna con 28,5°C en la semana 6 en el mes de octubre, mientras que el valor mínimo registrado fue de 24,9 °C localizándose aguas arriba de la descarga en la quinta semana de monitoreo en el mes de octubre.

Se puede observar en la Tabla 6 que el incremento del caudal en el punto de mezcla se debe al aporte de la descarga. Se evidencia el mayor caudal en el punto de mezcla en la

Tabla 3. Valores del pH en puntos de monitoreo principales

Mes	Semana	LMP mg/l	Aguas Arribas	Descarga	Punto de Mezcla	P1	P2	P3
Septiembre	1	6-9	7,9	7,83	7,86	7,74	7,64	7,72
	2	6-9	7,82	7,82	8,09	7,69	7,5	7,64
	3	6-9	7,9	7,93	7,83	7,7	7,38	7,48
	4	6-9	7,49	7,82	7,55	7,46	7,33	7,45
Octubre	5	6-9	7,48	7,73	7,45	7,46	7,44	7,35
	6	6-9	7,3	7,41	7,17	7,25	6,963	6,9
	7	6-9	7,43	7,78	7,28	7,34	7,1	7,01
Noviembre	8	6-9	6,79	7,15	6,95	6,45	6,25	6,24
	9	6-9	7,15	7,41	7,15	7,17	6,9	6,9
	10	6-9	7,22	7,48	7,10	7,12	6,91	6,9

Fuente: (Flores Pinargote & Menéndez Vera, 2020)

Tabla 4. Valores del oxígeno disuelto en el río Carrizal en mg/l

Mes	Semana	LMP mg/l	Aguas Arribas	Descarga	Punto de Mezcla	P1	P2	P3
Septiembre	1	5	4,6	1,6	3,8	4,6	3,7	4,3
	2	5	3,7	2	3,9	3,9	3,2	3,5
	3	5	4,4	2,9	4,6	5,2	4,4	4,6
	4	5	4,5	2,7	4,6	3,8	2,8	3
Octubre	5	5	4,1	2,5	4,1	4	3,2	3,2
	6	5	4,5	1,6	2,9	3,8	3,2	2,5
	7	5	4,3	1,3	2,7	3,8	2,7	2,9
Noviembre	8	5	4,2	2	4,1	3,8	3,3	3,3
	9	5	4,3	1,7	3,1	3,8	3,1	3
	10	5	4,4	1,6	3,3	3,8	3,1	3

Fuente: (Flores Pinargote & Menéndez Vera, 2020)

Tabla 5. Valores de temperatura (°C) en el agua del río Carrizal

Mes	Semana	LMP mg/l	Aguas Arribas	Descarga	Punto de Mezcla	P1	P2	P3
Septiembre	1	32	25,4	26,1	25,2	26,3	28	26,8
	2	32	25,9	27,4	26,4	26,6	28,4	27,8
	3	32	26,8	27,5	27	27,7	27,3	26,5
	4	32	26	27	26	25,9	26	25,4
Octubre	5	32	24,9	26,5	25,4	26	26,6	26,4
	6	32	26,9	28,5	27,4	26,4	26,8	27,3
	7	32	27,1	28	27,1	26,7	26,8	27,1
Noviembre	8	32	26,7	27,7	26,5	26,5	26,9	27,4
	9	32	26,9	28,1	27,1	26,6	26,8	27,3
	10	32	26,9	28	26,9	26,5	26,8	27,2

Tabla 6. Valores de los caudales en el río Carrizal en m³/s

Mes	Semana	Aguas Arribas	Descargas	Punto de Mezcla	P1	P2	P3
Septiembre	1	5,75	0,03	5,78	5,69	5,29	
	2	4,26	0,024	4,28	4,23	3,69	
	3	4,86	0,032	4,89	4,81	4,47	
	4	6,49	0,022	6,51	6,41		
Octubre	5	7,63	0,028	7,66	7,56		
	6	4,85	0,025	4,88	4,80		
	7	5,51	0,035	5,55	5,48		
Noviembre	8	6,74	0,03	6,77	6,73		
	9	5,87	0,027	5,90	5,8	5,32	
	10	6,13	0,033	6,16	6,07	5,57	

semana 5 en el mes de octubre llegando hasta 7,66 m³/s y en el punto de la descarga el caudal más representativo fue de 0,035 m³/s en el mismo mes. Los caudales mínimos presentados fueron de 3,69 m³/s en el punto 2 de monitoreo en la semana 2 en el mes de septiembre y de 0,022 en la semana 4 en el mes del mismo mes.

Realización del modelado de la capacidad autodepurativa del río carrizal a través de un modelo matemático

Primero: Se utilizaron para el modelado los valores de cada semana que luego fueron promediados para obtener los resultados mensuales de la época de estiaje

Se aplicó la ecuación del balance general para determinar los parámetros en el punto de mezcla donde se obtuvo los resultados según la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de la semana 1 en puntos base

	T	OD	DBO ₅	Caudal (m ³ /s)	H (m)	V (m/s)
Descarga	26,1	1,6	193	0,03		
Río	25,4	4,6	9	5,75	0,5	0,522

Fuente: (Flores Pinargote & Menéndez Vera, 2020)

Balance para el caudal

$$Q_m = Q_r + Q_d$$

$$Q_m = (5,75 + 0,03) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 5,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

Balance para el OD

$$OD_m = \frac{(OD_r * Q_r + OD_d * Q_d)}{Q_m}$$

$$OD_m = \frac{(4,6 * 5,75 + 1,6 * 0,03)}{5,78}$$

$$OD_m = 4,58 \text{ mg/l}$$

Balance para la DBO

$$DBO_m = \frac{(DBO_r * Q_r + DBO_d * Q_d)}{Q_m}$$

$$DBO_m = \frac{(9 * 5,75 + 193 * 0,03)}{5,78}$$

$$DBO_m = 9,96 \text{ mg/l}$$

Balance para la temperatura

$$T_m = \frac{(T_r * Q_r + T_d * Q_d)}{Q_m}$$

$$T_m = \frac{(25,4 * 5,75 + 26,1 * 0,03)}{5,78}$$

$$T_m = 25,40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Segundo: Determinación de las constantes cinéticas de desoxigenación y reoxigenación:

$$kd = 0,3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0,434}$$

$$kd = 0,3 * \left(\frac{0,5}{8}\right)^{-0,434}$$

$$kd = 0,9993309 \text{ d}^{-1} \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se fijó una constante de reoxigenación de 0,46 a 20 °C d⁻¹ según el cuadro de intervalos de acuerdo a las características del río.

$$kd = 0,9993309 \text{ d}^{-1} \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$ka = 0,46 \text{ d}^{-1} \text{ a } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura:

$$K^T = K^{20} * \theta^{(T-20)}$$

$$kd = 0,9993309 * 1047^{(25,40-20)}$$

$$kd \text{ corregida a temperatura de mezcla} = 1,2808 \text{ d}^{-1}$$

$$ka = 0,46 * 1024^{(25,40-20)}$$

$$ka \text{ corregida a temperatura de mezcla} = 0,523 \text{ d}^{-1}$$

Tercero: Se calculó del déficit inicial de oxígeno disuelto:

$$D_o = O_s - OD$$

$$D_o = 8,26 - 4,58$$

$$D_o = 3,6756 \text{ mg/l}$$

Cuarto: Modelación de la concentración de DBO y OD. Se calculó para una distancia referencial de 1000 metros con una velocidad transformada a m/d de 45100,8:

$$DBO = L_o * e^{(-kd * \frac{x}{v})}$$

$$DBO = 9,96 * e^{(-1,2808 * (\frac{1000}{45100,8}))}$$

$$DBO_{1000m} = 9,68 \text{ mg/l}$$

Se calculó el déficit de oxígeno a x distancia:

$$D = D_o * e^{-ka \frac{x}{V}} + \frac{kd * L_o}{ka - kd} (e^{-kd \frac{x}{V}} - e^{-ka \frac{x}{V}})$$

$$D = 3,6756 * e^{-0,523 \frac{1000}{45100,8}} + \frac{1,2808 * 9,96}{0,523 - 1,2808} (e^{-1,2808 \frac{1000}{45100,8}} - e^{-0,523 \frac{1000}{45100,8}})$$

$$D = 3,91 \text{ mg/l}$$

Se calculó la representación del oxígeno disuelto a x distancia:

$$OD = O_s - D_x \text{ distancia}$$

$$OD = 8,26 - 3,91_{1000 \text{ m}}$$

$$OD_{1000 \text{ m}} = 4,35 \text{ mg/l}$$

Quinto: Se establecieron las condiciones críticas:

Tiempo crítico

$$tc = \frac{1}{(Ka - kd)} * \ln \left\{ \frac{ka}{kd} \left[1 - \frac{D_o(ka - kd)}{kd * L_o} \right] \right\}$$

$$tc = \frac{1}{(0,523 - 1,2808)} * \ln \left\{ \frac{1,2808}{1,2808} \left[1 - \frac{3,6756(0,523 - 1,2808)}{1,2808 * 9,96} \right] \right\}$$

$$tc = 0,92 \text{ días}$$

Distancia crítica

$$X_c = V * tc$$

$$X_c = 45100,8 * 0,92$$

$$X_c = 41,551 \text{ m}$$

Déficit crítico

$$D_c = \frac{kd}{ka} L_o e^{-kd * tc}$$

$$D_c = \frac{1,2808}{0,523} 9,96 e^{-1,2808 * 0,92}$$

$$D_c = 7,49 \text{ mg/l}$$

Oxígeno disuelto crítico

$$OD_c = O_s - D_c$$

$$OD_c = 8,26 - 7,49$$

$$OD_c = 0,77 \text{ mg/l}$$

Sexto: Se calculó del porcentaje de remoción de DBO₅:

$$e = \frac{DBO_5(\text{mezcla}) - DBO_5(9000\text{m})}{DBO_5(\text{mezcla})} * 100$$

$$e = \frac{9,96 - 7,71}{9,96} * 100$$

$$e = 23\%$$

La Tabla 8 muestra los resultados de los datos de la época de estiaje reproducidos por el modelo matemático Streeter and Phelps, el cual muestra como el OD tiende a decaer desde el punto 0 (punto mezcla) hasta los 9000 metros después (punto 3) con valores de hasta 3,02 mg/l en condiciones poca aerobias. Se evidencia que durante los 9000 metros de muestreo el río Carrizal no muestra ninguna tendencia a la recuperación del oxígeno disuelto.

Tabla 8. comportamiento de oxígeno disuelto y materia orgánica en la época de estiaje

Distancia (m)	Déficit OD (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
-500	3,67	4,38	7,39
-400	3,68	4,36	7,36
-300	3,70	4,34	7,34
-200	3,73	4,32	7,32
-100	3,74	4,31	7,30
0	3,76	4,29	7,28
1000	3,93	4,12	7,06
2000	4,09	3,95	6,84
3000	4,25	3,80	6,64
4000	4,40	3,65	6,44
5000	4,54	3,51	6,24
6000	4,67	3,38	6,05
7000	4,79	3,25	5,87
8000	4,91	3,13	5,70
9000	5,02	3,02	5,52
10000	5,13	2,92	5,36

Por otra parte, la DBO5 desde el punto de mezcla con un valor de 7,28 mg/l disminuye hasta los 5,52 mg/l a los 9000 metros ubicado en el punto 3 en el sitio “La Estancilla”.

La Figura 2 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto la época de estiaje haciendo predicciones cada 1000 metros, donde aguas arriba tiene el valor de 4,38 mg/l que luego de la descarga se observa claramente cómo va decayendo debido al efecto que ejerce la descarga de las lagunas de oxidación de Bolívar sobre la calidad de agua del río Carrizal, ocasionando una disminución constante, alcanzando en su punto crítico una concentración de 1,83 mg/l en una distancia de 34,75 km partiendo de la descarga, lo que se calcula que pasaría en 0,78 días, siendo este el punto crítico donde luego el río empieza aumentar los valores de OD.

III. DISCUSIÓN

El Río Carrizal en la época de estiaje presento diferencias poco significativas en los caudales en las 10 semanas de monitoreo comprendidas en los meses de septiembre, octubre y noviembre. La velocidad de la corriente fue disminuyendo progresivamente en los puntos de muestreos 1,2 y 3 por diferentes causas como la evo transpiración, la infiltración en el suelo, las diferentes captaciones de agua del Río Carrizal para el riego de cultivos agrícolas otra causa de la disminución del caudal es debido al embalse ubicado en el sitio La Estancilla (punto 3 de muestreo) donde no se pudo calcular la velocidad de la corriente dado que en la sección vertical, la corriente es mayor en la superficie y menor en las regiones más profundas (Tundisi Matsumura & Tundisi Galizia, 2016).

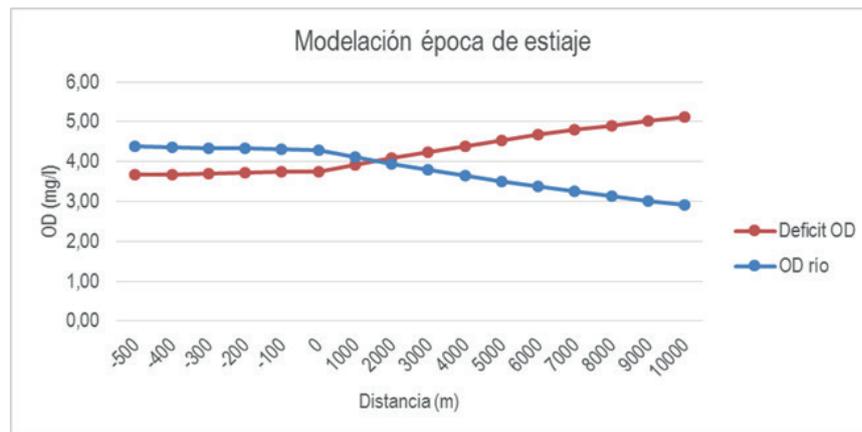


Figura 2. Modelación promedio para la época de estiaje

La carga contaminante proveniente de las lagunas de oxidación se hace evidente a los 200 metros disminuyendo los valores de Oxígeno disuelto donde según los datos obtenidos en campo llega a su punto crítico en el punto 2 de muestreo, en el punto 3 de muestreo empieza aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en concordancia con lo investigado por (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2002) que indica que la concentración de oxígeno en diferentes profundidades está relacionada con los procesos de estratificación y desestratificación, la circulación vertical, su eficiencia y la distribución vertical de organismos.

Cabe destacar que kilómetros arribas de la descarga se encuentra la represa “La Esperanza” considerada como una cuenca anóxica donde ocurre un desequilibrio ecológico debido a la descomposición de vegetación que provoca bajísimas concentraciones de oxígeno disuelto que condicionan la diversidad de especies acuáticas, y se ha demostrado que altas concentraciones facilitan la proliferación de bacterias y microorganismos aeróbicos, lo cual a su vez incrementa la supervivencia de especies acuáticas (Sardiñas et al., 2006).

En una investigación realizada por (Espinel, V., Cabrera, C., Noles, P., y Espinel, 2018) en uno de los afluentes a esta presa, se demostró que la calidad del agua en los 3 monitoreos no se obtuvo variación significativa de los valores ponderados en un índice de calidad media, sin embargo, los parámetros que fueron monitoreados excedieron significativamente los límites permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria Ecuatoriana.

El modelo matemático Streeter and Phelps muestra como el oxígeno disuelto va en decadencia desde las descargas hasta el punto 3 de muestreo con valores de hasta 2,5 mg/l en condiciones anaerobias. Durante los 9000 metros de muestreo el río Carrizal no muestra ninguna tendencia a la recuperación del Oxígeno disuelto. Por otra parte, la DBO5 desde el punto de mezcla con un valor de 7,28 mg/l disminuye a 5,52 mg/l a los 9000 metros La Estancilla a partir de la descarga. Obteniendo un 23,76% de remoción de materia orgánica biodegradable. En

concordancia con (Pazmiño-Rodríguez et al., 2018) que utilizaron el modelo Streeter and Phelps en la corriente del estero de aguas claras en Quevedo determinando un buen rendimiento demostrando que el modelo se ajusta a las condiciones de la variación del oxígeno disuelto.

IV. CONCLUSIONES

Los datos más representativos fueron los de: punto blanco con OD de 4,3 mg/l y de MO 6,39 mg/l los cuales fueron afectados por la descarga de las lagunas de oxidación con valores de OD 2,07 mg/l y MO de 167,7 mg/l. El modelo matemático Streeter and Phelps predijo sin cambios significativos que el río carrizal removió 23,76% de remoción de materia orgánica provenientes de las lagunas de oxidación.

El modelo matemático Streeter and Phelps utilizado para el análisis del comportamiento del río carrizal frente a las lagunas de oxidación refleja con los valores obtenidos en el campo que el río tendrá un punto más crítico de 1,83 mg/l a los 34,75 km aguas abajo de la descarga.

El parámetro de OD se encuentra fuera de los límites máximos permisibles para la preservación de flora y fauna en aguas dulces. Se pudo evidenciar con los datos obtenidos en campo que el OD desciende hasta 2,5 mg/l por lo que se encuentra por debajo del estándar ambiental que es 5 mg/l establecido en el anexo 1, del libro VI del TULSMA.

V. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a los profesores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por las facilidades y aportes para desarrollar la presente investigación.

VI. REFERENCIAS

Ambrus Steven. (2016). *Investigadores al combate de la contaminación y las enfermedades - Ideas que Cuentan.*

- Banco Interamericano de Desarrollo. <https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/investigadores-al-combate-de-la-contaminacion-y-las-enfermedades/>
- ANA. (2011). Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos Autoridad Nacional Del Agua. In *GreenFacts*. http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/2011-PROTOCOLO-ANAPERU.pdf
- Bezerra-Neto, J. F., & Pinto-Coelho, R. M. (2002). A morfometria e o estado trófico de um reservatório urbano: Lagoa do Nado, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum - Biological and Health Sciences*, 24(2), 285–290. <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/2263/2243>
- el Universo. (2009). Ecuador enfrenta desafíos por contaminación de ríos. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/2009/03/18/1/1430/3927AAEE806F4DF68C94A6C26704856D.html>
- Espinel, V., Cabrera, C., Noles, P., y Espinel, E. (2018). Actividades agropecuarias del Sitio «La Bóveda» y su incidencia en la calidad del agua de escorrentía al embalse Sixto Durán Ballén. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(39), 73–82. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14168/12482>
- Flores Pinargote, J. A., & Menéndez Vera, J. Y. (2020). *Evaluación de la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río carrizal sobre los efluentes de la laguna de oxidación de Calceta*. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1324/1/TTMA06D.pdf>
- Pazmiño-Rodríguez, J. C., Zambrano-Ganchozo, G. L., & Coello-Burgos, H. A. (2018). Modelización de la calidad del agua del estero aguas Claras, cantón Quevedo, Ecuador. *DYNA*, 85(204), 204–214. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.65847>
- Reinoso Chisaguano, I. C. (2015). *Evaluación ambiental del río Machángara* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10479>
- Sardiñas, O., Chiroles, S., Fernández, M., Hernández Yusaima, & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Sanid. Ambient. Higiene y Sanidad Ambiental*, 6(6), 202–206. <https://www.salud-publica.es/>
- Streeter, H. W., & Phelps, E. B. (1927). A Study of the Pollution and Natural Purification of the Illinois River. *Journal - American Water Works Association*, 18(6), 753–756. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1927.tb13530.x>
- Tundisi Matsumura, J. E., & Tundisi Galizia, J. (2016). *Limnologia*. Camara Brasileira Del Libro. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6LcWDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=•+Tundisi,+J.,+%26+Matsumura,+T.+\(2008\).+Limnologia.+Sao+Paulo:+Oficina+de+Textos.&ots=8KJXqSONi8&sig=cKzVGGXRd_tglulRLOmngJ2WP18#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6LcWDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=•+Tundisi,+J.,+%26+Matsumura,+T.+(2008).+Limnologia.+Sao+Paulo:+Oficina+de+Textos.&ots=8KJXqSONi8&sig=cKzVGGXRd_tglulRLOmngJ2WP18#v=onepage&q&f=false)
- Zabaleta Villanueva, E. (2016). *Evaluación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función a las características fisicoquímicas del río Grande - Distrito Celendin*. 86. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1762/TESIS_EVER_ZABALETA_VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Zúñiga Torres, L. A. (2014). *Modelación de la calidad de agua del Río Malacatos, tramos comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte* (RiUTPL, Ed.) [Universidad Católica de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/10606>

Contribución de autoría:

Conceptualización y Redacción: Verónica Dayana Espinel Pino; Investigación y Metodología: Jesús Yardhel Menéndez Vera, José Alfredo Flores Pinargote, Patricio Javier Noles Aguilar y Carmelo Joffre Menéndez Cevallos.

Caracterización de las actividades acuáticas en la zona del VRAEM y su impacto ambiental

Characterization of aquatic activities in the VRAEM area and its environmental impact

Alfonso Ramírez Caján¹

Recibido: 26/03/2021 - Aprobado: 17/03/2022 – Publicado: 30/06/2022

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo caracterizar las actividades acuáticas que se realizan en la zona del Vraem; así como identificar los pasivos ambientales y fuentes de contaminación antrópica en las riberas y fajas marginales adyacentes a los ríos, causados por la formación de drenes urbanos ante la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales y redes de alcantarillado y desagüe; acumulación y colmatación de residuos sólidos provenientes del transporte acuático, viviendas y puestos ribereños de comida, lixiviados de las pozas de maceración de drogas insertados en los ríos por escorrentía y percolación y la sedimentación y erosión de suelos por extracción de material de acarreo aluvial. La metodología se basó en una investigación no experimental, con la recopilación de los datos en campo a partir de la observación y herramientas de medición. Se registró un total de 297 embarcaciones y 86 motochatas fluviales tipo chimpanzas que navegan por los principales ríos del Vraem en las jurisdicciones de Pichari, Ivochote, Boca Anapati, Quiteni, Puerto Ocopa, Camisea y Mantaro, 67 áreas de embarque y desembarque de personal y material, 15 empresas de transportistas fluviales y 8 astilleros dedicados a la construcción y reparación de naves de material de acero naval, describiéndose sus características técnicas y proceso de estructuración de las mismas, concluyéndose, que si bien el transporte acuático permite la interconexión y el desarrollo socioeconómico en la zona del Vraem, la falta de educación y gestión inadecuada en dicha actividad, genera un impacto negativo significativo para los componentes ambientales.

Palabras claves: Arqueo bruto; motochata fluvial; astillero; cuenca; pasivo ambiental.

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the aquatic activities that take place in the Vraem area; as well as to identify the environmental liabilities and sources of anthropic contamination on the banks and marginal strips adjacent to the rivers, caused by the formation of urban drains due to the lack of wastewater treatment plants and sewage and drainage networks; accumulation and clogging of solid waste from water transport, houses and riverside food stalls, leachate from drug maceration ponds inserted into rivers by runoff and percolation, and sedimentation and soil erosion by extraction of alluvial material. The methodology was based on the execution of a non-experimental investigation, with the collection of data in the field from observation and measurement tools. A total of 297 boats and 86 chimpanzee-type riverboats were registered, navigating the main rivers of the Vraem in the jurisdictions of Pichari, Ivochote, Boca Anapati, Quiteni, Puerto Ocopa, Camisea and Mantaro, 67 embarkation and disembarkation areas for personnel and material, 15 river transport companies and 8 shipyards dedicated to the construction and repair of naval steel material ships, describing their technical characteristics and their structuring process, concluding that although water transport allows interconnection and development socioeconomic in the Vraem area, the lack of education and inadequate management in this activity generates a significant negative impact for the environmental components.

Keywords: Gross tonnage; river bikes; shipyard; basin; environmental liability.

¹ Ingeniero Ambiental. Universidad Alas Peruanas. Lima, Perú.

E-mail: alfonso.ramirezcajan@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7951-2142>

I. INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica de la investigación se sitúa en el distrito de Pichari, provincia de La Convención, departamento del Cusco, en el eje de los Valles de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro - Vraem. Esta zona del Perú presenta un clima con temperaturas que fluctúan entre los 18 y 34 °C, con altos niveles de humedad de 51 a 74 % y una altitud entre los 550 y 2000 msnm, dominado por un terreno accidentado donde las altas colinas y montañas presentan laderas con pendientes bastante pronunciadas que oscilan entre los 11 y más de 25° de inclinación, convirtiéndose en un área favorable para el cultivo de hojas de coca, cuya extensión insostenible y peligrosa se destina para la producción y rutas de comercialización de drogas. Por otro lado, el procesamiento de la hoja de coca consta de dos etapas: una primera, en la que se pasa de hoja de coca a pasta básica de cocaína (PBC). La segunda, es donde se obtiene el producto finalizado, el clorhidrato de cocaína (López Villanes & Vizcarra Castillo, 2012).

La escasa infraestructura de plantas potabilizadoras de agua en la zona ha sido atenuada con la construcción de reservorios que se abastecen por la caída de agua de zonas elevadas en el monte Inquilhuato como es el caso de la localidad de Ivochote y de manantiales y quebradas en las comunidades de Camisea; cuyos cuerpos de agua se tornan a la vez en sumideros temporales de aguas residuales y residuos sólidos provenientes de los espacios rururbanos y de las actividades fluviales. Coexistentemente, la industria naval insostenible y acrecentada en el ámbito fluvial viene rezagando en pasivos ambientales en las riberas, cuya carga metálica y sustancias disolventes son insertadas en la cadena trófica y las comunidades bentónicas.

Los ríos principales de la zona de estudio, Apurímac y Mantaro son muy torrentosos, con mucha pendiente, con cauces angostos y pedregosos que dificultan el desplazamiento de las embarcaciones. De estos ríos, el Apurímac es navegable sobre todo en su tramo medio y final, mientras que en su tramo inicial es peligroso debido a que existen muchos rápidos (caídas); el Mantaro es otro río navegable principalmente en su tramo final. Las embarcaciones miden entre 12 y 15 m de largo, con capacidad de carga de ½ t, impulsados con motores 40 o 50 hp (Paredes del Aguila & Sandoval Toribio, 2010).

La problemática presentada en la zona es el desarrollo de actividades acuáticas realizadas de manera insostenible, relacionadas a la pesca, construcción de naves y transporte fluvial principalmente, siendo el objetivo de la investigación describir los impactos que ocasionan al ambiente y su entorno.

II. MÉTODOS

2.1 Diseño del estudio

Se realizó una investigación no experimental de campo con diseño longitudinal de tendencia, ya que se recolectaron datos de la zona de estudio del Vraem durante los años del 2018 al 2021. Se aplicó el método descriptivo y explicativo en base a las variables establecidas; es decir, las actividades acuáticas y su impacto.

2.2 Instrumentos empleados

Para la colección de información in situ se utilizó una embarcación fluvial, cámara fotográfica, mapas geográficos de la zona, equipo GPS, laptop y notas de campo; además de vehículos particulares para el desplazamiento terrestre hacia los diferentes centros poblados. Se accedió a la revisión literaria del reglamento del Decreto Legislativo N° 1147 de la Autoridad Marítima Nacional, a fin de interiorizar terminología náutica en el ámbito fluvial.

2.3 Técnicas de colección de datos

Para el registro de la ubicación de los embarcaderos en la zona del Vraem, se efectuó un recorrido fluvial acompañado de entrevistas a la población local. Asimismo, para obtener el registro de embarcaciones y motochatas fluviales se recurrió al análisis documental del inventario contrastado entre las Bases de Control Fluvial de la Marina de Guerra y de las asociaciones de transportistas fluviales. El trabajo en campo como fuente primaria de colección de datos se efectuó a través de la observación directa, fotografías y encuestas.

III. RESULTADOS

3.1 Datos sobre las actividades acuáticas

3.1.1 Transporte acuático

Según su diseño de construcción no convencional (acero naval), el exceso de la capacidad de carga transportada y la falta de implementos y medidas de seguridad a bordo las embarcaciones representan un riesgo para el transporte fluvial. En la zona del Vraem los botes fluviales presentan dimensiones aproximadas de 13 m de eslora, 1.85 m de manga y 0.8 m de puntal; así como los denominados “pongueros”, cuya capacidad de transporte es de 40 a 50 pasajeros, siendo sus medidas de 26 m de eslora, 1.90 m de manga y 0.90 m de puntal, ambas dedicadas a la navegación de cabotaje. Por otro lado, las motochatas fluviales denominadas “chimpas”, presentan dimensiones hasta a los 21 m de eslora, 6 m de manga y 1.1 m de puntal, propulsadas por 2 motores fuera de borda de 60 hp cada uno y dedicados a la navegación de bahía, a través de las operaciones de vadeo de vehículos (Ver Figura 1).

El presente estudio registró un total de 383 naves, de las cuales 166 se encuentran operando en la jurisdicción de Pichari en la cuenca del Apurímac y sus afluentes en los ríos Pichari, Piene, Acon, Mayapo, Chuimacota, Chumchubamba, Santa Rosa y las quebradas Quimbiri y Runamarca, 39 en la jurisdicción de Camisea en la cuenca del Urubamba y sus afluentes en los ríos Camisea, Capanashiari, Ticumpinia y Cashiriari, 93 en la jurisdicción de Ivochote en la cuenca del Urubamba y sus afluentes en los ríos Yavero, Mantalo y Yoyato, 1 en la jurisdicción de Quiteni en la cuenca del Tambo y sus afluentes en los ríos Pomariani, Mamiri y Ene y las quebradas Quipachiari, Mabeni y Titubeni, 54 en la jurisdicción de Puerto Ocopa en la cuenca del Tambo y sus afluentes en los ríos Ene, Perené, Pangoa, Kirishiari y Nenquichani, 22 en la jurisdicción de Boca Anapati en la cuenca del Ene y sus afluentes en los ríos Cutivireni y Chapo y 8 en la Jurisdicción de Mantaro en la cuenca del Apurímac y sus afluentes en el río Yavero

y la quebrada Canayre. (Ver Figura 2). Del total de naves, 297 son embarcaciones y 86 motochatas fluviales.

Los factores de riesgo a la navegación se producen por la presencia del Pongo de Mainique, que ocasiona la formación de fuertes corrientes de agua y remolinos; además de la morfología de los ríos que presentan poca profundidad con fondo rocoso y que en época de lluvias genera la erosión de las riberas. Según Morales Aquituari & Soplín Ríos (2015), los factores que afectan a la navegabilidad son el régimen de las aguas, configuración del cauce, tipo de lecho, malos pasos y formación de nuevos cauces.

3.1.2 Trabajos de astillería

Ante la falta de infraestructura portuaria en las riberas de los ríos para interconectar las localidades y centros poblados, a partir del año 2000 aparecieron de manera empírica los

primeros diseños de embarcaciones y motochatas fluviales de acero como obras clandestinas, al carecer de permisos y controles en su proceso de construcción. Actualmente, se han identificado 4 astilleros en la localidad de Ivochote, correspondiente a las empresas Las 7 Estrellas EIRL., Constructora y Provedora Angelito SRL., Transportes Daniel y Camargo & Huamán EIRL; 1 en Puerto Ocopa de la empresa Astillería Turbo EIRL., 1 en la comunidad nativa Shivankoreni en Camisea denominada “Dilan” y 2 en el Puerto de Sivia, todos dedicados a la construcción y reparación de naves hasta 20 de arqueo bruto en la categoría A-AN-6.

La construcción tipo chimpa se encuentra seccionada en 4 compartimentos con planchas de acero de 5” x 3 mm, unidos a 28 cuadernas de refuerzo inferior, superior y vertical y a 4 vigas estructurales inferiores y superiores de 5” x 4.5 mm, que descansan sobre planchas de 3 y 4.5 mm de espesor que constituyen el fondo y casco de



Figura 1. Motochata fluvial tipo chimpa

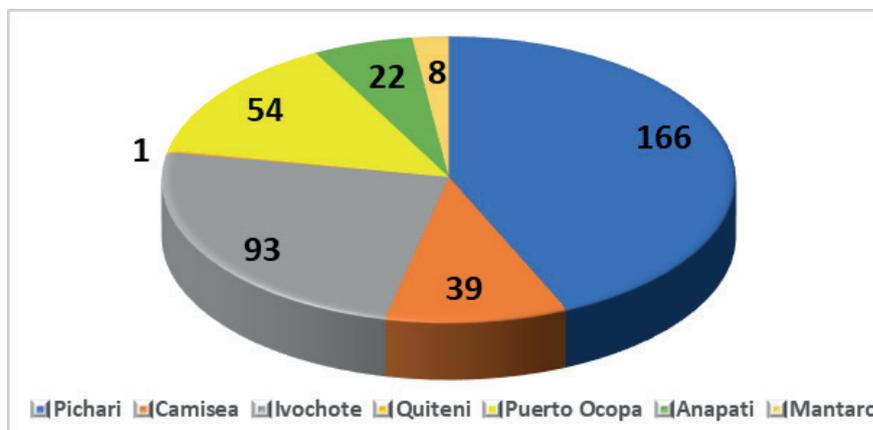


Figura 2. Estadística de naves en la zona del Vraem

la motochata fluvial, en cuya cubierta y techo se alcanzan planchas de 4 y 2 mm de espesor, respectivamente; además de tubos galvanizados de acero de 4 ½” x 2 mm que conforman las barandas metálicas, 2 anclas en proa (bitas de amarre), protector del motor en popa y protector de impacto en la proa, en donde se acoplan 2 rampas de acceso y 1 gancho para remolque, siendo su capacidad de carga máxima 14 t (Ver Figura 3). El proceso de construcción de embarcaciones comprende la puesta de quilla, fabricación, casco y estructura, caseta y puente, pintado, instalación de sistemas, pruebas en astillero y pruebas en agua (García Huamanchumo, 2004).

3.1.3 Asociaciones de transportistas fluviales

Conformadas por los propietarios de embarcaciones y motochatas fluviales, se han establecido 15 de éstas operando a lo largo de las cuencas del Vraem, encontrándose

en el Apurímac las asociaciones “Sivia-Vrae”, “Huáscar”, “Durito”, “Rápidos LG”, “Huáscar del Vraem”, “Miguel Grau de Omayá Baja”, “Puerto Ene” y “José Olaya”, en el Urubamba a “Pongo de Mainique”, “Megantoni” y “Bajo Urubamba”, en el Perené a “Puerto Chata”, en el Mantaro a “Unión Mantaro” y en el Anapati a “Huáscar Puerto Anapati” y “Flor Jhulianna”.

3.1.4 Embarcaderos

A fin de caracterizar el tráfico fluvial de embarcaciones y motochatas fluviales que operan en los ríos navegables del Vraem, cuya extensión aproximada es de 720 km y que comprende las cuencas del Apurímac, Mantaro, Ene, Perené, Tambo y Urubamba, se identificaron embarcaderos distribuidos en 6 jurisdicciones, contando con 30 en el área de Pichari, 10 en Boca Anapati, 9 en Quiteni, 7 en Puerto Ocopa, 7 en Camisea y 4 en Ivochote (Ver Figura 4).



Figura 3. Diseño de construcción convencional tipo chimpa



Figura 4. Vista panorámica del embarcadero de Ivochote

Se registró in situ la existencia de 67 áreas destinadas al embarque y desembarque de personal y material (Ver Tabla 1).

3.2 Datos sobre el impacto ambiental

3.2.1 Pasivos ambientales

La producción artesanal de la pasta básica de cocaína a partir de la hoja de coca requiere el uso de 35 insumos químicos fiscalizados, dentro de los cuáles se encuentran la gasolina, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, tiner, acetona, amoníaco,

benceno, carbonato de sodio, éter etílico, permanganato de potasio, tolueno, óxido de calcio e hipoclorito de sodio, principalmente (Espejo Tovar Ángel, 2011). Para ello se construyen pozas de maceración de material de madera recubiertas con plásticos, cuyas dimensiones varían de 3 a 5 m de longitud por 1.2 metros de ancho y 0.80 de alto (Ver Figura 5). Estas pozas se ubican cerca de las riberas de los ríos debido a que su proceso requiere abundante agua, el mismo que al finalizar deja en abandono agua residual acumulada que drena por escorrentía por acción de las lluvias y fluye hacia las fuentes hídricas generando

Tabla 1. Identificación de embarcaderos en la zona del Vraem

N°	Área	Nombre Embarcadero	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud
1		CPM Villa Virgen	13°00'24.41" S	73°30'54.03" W
2		CPM Limatambo	12°57'34.65" S	73°30'36.53" W
3		Naranjal	12°56'42.48" S	73°30'04.21" W
4		Puerto Unión Progreso	12°55'59.22" S	73°31'49.96" W
5		Quintarina	12°55'14.37" S	73°31'57.55" W
6		Bella Vista	12°51'43.49" S	73°34'42.12" W
7		Monterrico	12°49'35.44" S	73°35'25.60" W
8		Chirumpiari	12°48'32.69" S	73°36'21.94" W
9		Lobo Tawantinsuyo	12°47'35.77" S	73°37'20.58" W
10		Puerto Manitea Baja	12°45'10.92" S	73°38'18.21" W
11		Puerto Los Ángeles	12°40'46.80" S	73°41'52.55" W
12		CPM Samaniato	12°39'37.99" S	73°42'57.46" W
13		CP San Francisco	12°37'24.52" S	73°47'16.02" W
14		Ccatun Rumi	12°30'43.67" S	73°51'14.51" W
15	Pichari	Puerto Sivia	12°30'43.30" S	73°51'13.10" W
16		Puerto Mayo	12°27'25.90" S	73°52'21.50" W
17		Llochegua	12°24'25.98" S	73°54'08.27" W
18		Quisto Central	12°24'12.75" S	73°53'23.50" W
19		Mayapo	12°24'01.30" S	73°54'03.60" W
20		Santa Rosa	12°21'03.50" S	73°57'28.30" W
21		Villa Vista	12°19'43.80" S	73°58'06.00" W
22		Puerto Cocos	12°16'41.93" S	73°58'17.09" W
23		Puerto Ene	12°13'39.10" S	73°59'57.10" W
24		CPM Paquichaqui	12°12'50.90" S	74°00'50.74" W
25	CPM San Miguel	12°11'16.57" S	74°01'30.68" W	
26	Imaro Vítara	12°11'08.90" S	74°01'23.00" W	
27	Tunuantuari	12°09'37.00" S	74°04'42.00" W	
28	Valle Esmeralda	12°07'48.20" S	74°04'56.00" W	
29	Pantanal	12°07'15.08" S	74°05'35.26" W	
30	Coriri	12°04'59.61" S	74°03'58.05" W	
31		Selva de Oro	12°01'39.00" S	74°03'07.00" W
32		CPM Quempiri	11°59'21.06" S	74°00'45.47" W
33		Pampa Hermosa	11°56'00.93" S	73°58'21.41" W
34		Boca Anapati	11°55'56.90" S	73°59'07.60" W
35	Boca Anapati	Feria Yoyato	11°54'40.00" S	73°57'50.00" W
36		Puerto Berlín	11°54'30.20" S	73°57'51.01" W
37		Puerto Villa	11°54'01.50" S	73°56'14.10" W
38		Cutivireni	11°52'53.26" S	73°55'09.65" W
39		Puerto Mativalqui	11°52'52.80" S	73°55'07.30" W
40		Tibeni	11°58'00.98" S	74°01'23.03" W

N°	Área	Nombre Embarcadero	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud
41		CPM Mabeni	11°45'41.40" S	73°59'50.30" W
42		CPM Los Ángeles	11°42'03.73" S	74°00'22.25" W
43		CPM El Porvenir	11°40'37.60" S	74°00'58.80" W
44		CPM Sarita Colonia	11°40'26.00" S	74°01'24.50" W
45	Quiteni	Quiteni	11°40'36.00" S	74°01'09.00" W
46		Izquireli	11°29'12.40" S	74°05'13.40" W
47		Bajo Potsateni	11°24'40.64" S	74°08'37.06" W
48		Boca Sanibeni	11°35'39.77" S	74°05'01.80" W
49		Potzoteni	11°24'35.50" S	74°08'46.00" W
50		Puerto Ashaninka	11°13'32.40" S	74°14'40.80" W
51		Coriteni Tarzo	11°11'48.00" S	74°02'52.00" W
52		Mazorobeni	11°11'05.00" S	74°02'58.00" W
53	Puerto Ocopa	Puerto Prado	11°09'09.20" S	74°13'57.00" W
54		Puerto Ocopa	11°08'46.00" S	74°18'03.00" W
55		Puerto Chata	11°08'05.00" S	74°18'05.00" W
56		Shimavenzo	11°08'09.20" S	74°12'23.50" W
57		CPM Ivochote	12°27'41.30" S	72°57'59.13" W
58	Ivochote	CCNN Pachiri	12°26'17.02" S	72°54'29.65" W
59		CCNN San Carlos	12°25'37.13" S	72°54'33.94" W
60		CCNN Mantalo	12°20'16.19" S	72°52'17.49" W
61		CCNN Timpia	12°04'44.80" S	72°49'38.70" W
62		Puerto Shampitari	12°04'02.67" S	73°03'24.37" W
63		CCNN Chocoriari-Ticumpia	11°56'10.79" S	72°55'51.90" W
64	Camisea	Camisea	11°43'28.80" S	72°56'53.04" W
65		La Peruanita	11°41'45.00" S	73°01'20.04" W
66		Serpetbol	11°38'30.01" S	73°02'47.00" W
67		CPM Unión Palmeras	11°35'46.30" S	73°03'05.10" W



Figura 5. Poza de maceración para elaboración de droga

alteraciones en la biota acuática, especies bentónicas y la calidad del suelo. Las principales causas de contaminación se dan por insumos químicos (combustibles, ácidos, bases y sales) utilizados en la extracción de alcaloides de la familia de la cocaína, los cuales son vertidos contaminando el agua de microcuencas (Mendoza & Leyva, 2017).

Por otro lado, las aguas residuales provenientes de la red de desagüe y alcantarillado de los centros poblados y de los pozos sépticos instalados adyacentemente a la riberas de los ríos en los caseríos, contienen alta carga orgánica y bacteriana, insertándose a los cuerpos receptores de agua de manera superficial por descarga directa y por infiltración a través de los acuíferos; respectivamente, repercutiendo en su calidad ambiental y en la salud pública de los pobladores por ingesta, ocasionándoles enfermedades y desnutrición. A veces en zonas verdes urbanas, y debido a la composición de su suelo, se produce infiltración de aguas hacia los acuíferos, con el consiguiente peligro de contaminación (Loayza Quispe, 2015).

La explotación de hidrocarburos y gas natural en Camisea a cargo de las empresas Pluspetrol y China National Petroleum Corporation, vienen ocasionando repercusiones socioambientales en la comunidad Machiguenga, Ashaninka y Nanti acentuada en la zona, debido a las constantes fugas en los oleoductos que dejan sitios impactados en la calidad de los componentes ambientales como la Reserva Territorial Kugapakori Nahua Nanti, el Santuario Nacional de Megantoni en el bajo Urubamba y el estilo de vida de la población endémica. Asimismo, la presencia de grifos flotantes como el “Megantoni” de 64.72 de arqueo bruto de propiedad de la empresa Asema Camisea SAC., aumenta el riesgo de polución acuática a través de sus operaciones de trasvase sin equipos y materiales de contingencia ante posibles derrames.

La caracterización de los residuos sólidos en las riberas y los ríos evidencia el alto consumismo de plástico tipo

PET (Tereftalato de polietileno), HDPE (Polietileno de alta densidad) y PP (Polipropileno), principalmente, además de la acumulación de residuos domésticos quemados a cielo abierto y arrojados desde embarcaciones, cuyo impacto genera la liberación de dioxinas y furanos bioacumulables y biopersistentes en el ambiente, existiendo a nivel focal restaurantes flotantes como “El Titanic” posicionado en el distrito de Sivia, cuyas descargas líquidas de aguas grises y negras contribuyen a la carga ambiental.

El uso indiscriminado del ictiotóxico Barbasco (*Lonchocarpus urucú*) en la cuenca del Apurímac, en las localidades Llochegua y Canayre en Mantaro, causaron en los años 2011 y 2021; respectivamente, el envenenamiento masivo y varado de peces en las riberas como la Tilapia (*Oreochromis aureus*), Carpas (*Cyprinus carpio*) y la especie Malunto cuyo nombre local proviene de la comunidad nativa de Otari sin resgistro científico (Ver Figura 6). Sin embargo, también es conocido que la turbidez de las aguas por lodos en suspensión derivados de las lluvias anuales obstruye las branquias de los peces causándoles asfixia (Wismann, 2018). De las raíces del barbasco se extraen principalmente la rotenona, la deguelina, trefosina y el toxicarol (Mejía Aguirre, 2012). La rotenona es tóxica para los animales de sangre fría como los peces, bloquea la respiración celular y causa parálisis en el organismo (Sandoval-Herrera et al., 2019).

Las actividades de extracción y acopio de material de acarreo no metálico con fines de construcción (piedra y arena), comprometen las márgenes y cauces del río Perené frente a la comunidad nativa de Puerto Ocopa georeferenciada en latitud 11°08'28" S y longitud 74°18'21" W; así como al río Apurímac en los sectores de Omayá, Sivia y Ccatun Rumi, favoreciendo a la sedimentación y procesos erosivos que ocasiona cambios en la corriente hídrica, alteración de ecosistemas ribereños, reducción de la vegetación riparia y pérdida de hábitats de especies quilópodos como el “kisi”, con longitudes



Figura 6. Envenenamiento de la especie Malunto

que llegan hasta los 12 cm posee un par de patas por cada uno de los 9 segmentos que conforman su cuerpo y cuya denominación corresponde a los pobladores nativos de la zona, que incluyen a este organismo a su dieta para curar la neumonía (Ver Figura 7).



Figura 7. Especie quilópoda "kisi"

IV. DISCUSIÓN

Según García Huamanchumo (2004), la construcción y reparación de naves genera una serie de impactos ambientales negativos, siendo los más resaltantes e importantes los desechos de residuos sólidos como la viruta metálica, piezas de planchas, emisiones de gases tóxicos y efluentes industriales sin ningún pre tratamiento. Las actividades de astillería en el Vraem son cada vez más frecuentes, llevadas a cabo en espacios abiertos en zonas de playa y riberas, liberando tras su proceso agentes químicos al ambiente y residuos peligrosos al medio acuático.

Según Hernández Arribasplata & Cossío Herrera (2015), el análisis del contenido de plomo y cadmio en el río Apurímac durante los años 2013 y 2014, demuestra que el impacto de estos contaminantes es mínimo, no siendo significativo el deterioro de sus aguas; sin embargo, con la presencia de las lluvias su concentración aumenta debido a la escorrentía de agroquímicos usados para el cultivo de coca y por la presencia de residuos sólidos urbanos y de aquellos provenientes de yacimientos mineros abandonados en el río Pampas, como afluente principal de la cuenca del Apurímac. En ese sentido, el crecimiento exponencial de las actividades acuáticas vienen ocasionando impactos severos a las cuencas de la zona del Vraem, provenientes

de descargas líquidas de químicos de los procesos de maceración de coca instalados en las riberas, del drenaje de las aguas servidas de origen poblacional y de residuales metálicos de la construcción de embarcaciones de acero naval, entre otros; que contribuyen a la biomagnificación de contaminantes en la cadena trófica y desequilibrio ecológico, como el envenenamiento y varamiento de especies ictiológicas.

De acuerdo con lo señalado por Sánchez Sánchez (2019), las descargas de los residuos líquidos y desechos mineros, las aguas residuales sin tratar y los desechos domésticos, son las causas fundamentales de la contaminación de las aguas del río. Al respecto, la principal causa asociada a la contaminación hídrica está directamente relacionada al nivel de educación poblacional y las prácticas inadecuadas de economía informal.

V. CONCLUSIONES

El transporte acuático a través de las motochatas fluviales tipo chimpas permite la interconexión de los distritos y el desarrollo socioeconómico en la zona del Vraem, cuyo diseño y estructura es reconocido y certificado por la Dirección General de Capitanías y Guardacostas; sin embargo, esta actividad se torna riesgosa en razón al exceso de la capacidad de carga transportada y a la falta de implementos y medidas de seguridad a bordo.

Debido a la alta demanda del comercio y transporte por vía fluvial, se realizan obras clandestinas de construcción y reparación de embarcaciones de acero naval en las riberas, generando impactos directos a la calidad del agua por descarga de residuos sólidos, al suelo por partículas colorantes y disolventes de pinturas y al aire por emisiones de humos metálicos, óxidos de hierro, carbono y nitrógeno, radiaciones y ruido procedentes del soldeo oxiacetilínico.

El cultivo de la hoja de coca debido a su alta rentabilidad económica ocupa grandes extensiones de terreno, disminuyendo la probabilidad de una agricultura heterogénea, cuya producción está destinada en gran parte a la elaboración de las drogas, ocasionando la contaminación hídrica por escorrentía de los insumos químicos utilizados, al ser elaborados en las riberas de los ríos.

La disposición inadecuada de los residuos sólidos y las descargas líquidas en los ríos contribuyen al calentamiento y alteración fisicoquímica de sus aguas. La introducción de insecticidas y las prácticas inadecuadas de pesca mediante el uso del barbasco, ocasionan un gran impacto negativo en la cadena trófica y su nicho ecológico.

VI. AGRADECIMIENTOS

En reconocimiento al apoyo demostrado presento un sincero agradecimiento al personal guardacostas del Puesto de Capitanía de Pichari y de las Bases de Control Fluvial de la Marina de Guerra del Perú, por su disponibilidad y deferencia en las diferentes entrevistas y desplazamiento para la recolección de información.

VII. REFERENCIAS

- Espejo Tovar Ángel. (2011). *El control de los insumos químicos y la producción de cocaína en la región Mantaro, 2011-2012* [Centro de Altos Estudios Nacionales]. http://repositorio.caen.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13097/127/TESIS_CRL_ESPEJO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García Huamanchumo, J. del C. (2004). *Aplicación de un Programa de Gestión Ambiental y sus efectos en la productividad del Área de Construcciones y Reparaciones Navales del Servicio Industrial de la Marina Chimbote* [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10214>
- Hernández Arribasplata, H., & Cossío Herrera, L. A. (2015). *Repositorio Institucional UNSCH: Contaminación por plomo y cadmio del Río Apurímac - VRAE* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1130>
- Loayza Quispe, J. L. (2015). *Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del Río Shullcas – Huancayo – Junín* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3507>
- López Villanes, N., & Vizcarra Castillo, S. (2012). La cadena de valor de la cocaína: un análisis georreferenciado del Vrae. *Politai. Revista de Ciencia Política UCP. Seguridad Internacional y Crimen Organizado*, 3(4). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/politai/article/view/14098>
- Mejía Aguirre, Y. (2012). *Efecto biocida de la raíz pulverizada del barbasco (Lonchocarpus nicou (Aublet) DC.) in vitro e in vivo en el control de garrapatas (Rhipicephalus (Boophilus) microplus)* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/794/TZT-560.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza, W., & Leyva, J. (2017). *La economía del VRAEM. Diagnósticos y opciones de política*. PUCP | Departamento de Economía. USAID - CIES . <https://departamento.pucp.edu.pe/economia/libro/la-economia-del-vraem-diagnosticos-y-opciones-de-politica/>
- Morales Aquituari, C. de J., & Soplín Ríos, J. A. (2015). *El transporte fluvial y la navegabilidad de los ríos Huallaga, Marañón, Ucayali y Amazonas, 2014* [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/128>
- Paredes del Aguila, R. del P., & Sandoval Toribio, D. (2010). Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Selva de Huánuco. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana* . [www.iiap.org.pe](http://www.iiap.org.pe/poa@iiap.org.pe)
- Sánchez Sánchez, M. Á. (2019). *Descontaminación del río Rímac* [Universidad Nacional Federico Villareal]. http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3301/SANCHEZ_SANCHEZ_MIGUEL_ANGEL-MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sandoval-Herrera, N., Mena, F., Espinoza, M., & Romero, A. (2019). Neurotoxicity of organophosphate pesticides could reduce the ability of fish to escape predation under low doses of exposure. *Nature. Scientific Reports*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46804-6>
- Wismann, A. (2018). *Distribución espacial del pH de las precipitaciones pluviales del valle del Mantaro durante el periodo 2005-2014* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4898/1/INV_FIN_107_TE_Wismann_Facil_2018.pdf