

# ANTHROPIC SYSTEM AND WATER QUALITY IN A HIGH ANDEAN BASIN IN PERU

Alfonso Sánchez, Dr.<sup>1</sup>, Maryuri Vega, Mg.<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup>First and second, Author's Universidad Privada del Norte, [alfonso.sanchez@upn.edu.pe](mailto:alfonso.sanchez@upn.edu.pe) and Second Author, Universidad Privada del Norte, [maryuri.vega@upn.edu.pe](mailto:maryuri.vega@upn.edu.pe).

**Abstract:** *This research analyzed the impact of human activities on land use and water quality in the Doña Ana river basin, Chota district. It was found that 100% of the inhabitants*

*carry out agricultural activities, mainly corn and potato cultivation, while 95% are engaged in livestock activities and 89% in forestry. To evaluate water*

*quality, three sampling stations were selected and data were analyzed in the dry season and floods, using the Environmental Quality Standards (ECA) for water, category 3, which covers parameters such as fecal coliforms, pH, BOD5, nitrates, phosphates, turbidity. In the agricultural field, activities show a statistically significant relationship with water pollution. The results indicated that the levels of nitrates (2.3 to 12.3 mg/L) and phosphates (2.3 to 5.0 mg/L) exceed the permissible limits, compromising the quality of the water in this basin. On the other hand, forestry activities. On the other hand, forestry activities did not present a significant connection with pollution, while, in livestock use, only pasture management showed a significant link ( $p$ -value = 0.002) with water quality degradation. Regarding the values of the Water Quality Index (ICARHS) ranged between 46.01 and 46.60, which qualifies it as "BAD", these findings highlight*

*the negative impact of anthropic actions on the region's water resources.*

**Keywords:** *Anthropic System, Water Quality, Hydrographic Basin.*

# Sistema Antrópico y Calidad del Agua en una Cuenca Altoandina en Peru

Alfonso Sánchez, Dr.<sup>1</sup>, Maryuri Vega, Mg.<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup>First and second, Author's Universidad Privada del Norte, Perú, [alfonso.sanchez@upn.edu.pe](mailto:alfonso.sanchez@upn.edu.pe) and Second Author, Universidad Privada del Norte, Perú, [maryuri.vega@upn.edu.pe](mailto:maryuri.vega@upn.edu.pe).

**Resumen:** Esta investigación analizó el impacto de las actividades humanas en el uso del suelo y la calidad del agua en la cuenca del río Doña Ana, distrito de Chota. Se encontró que el 100 % de los habitantes realiza actividades agrícolas, principalmente cultivo de maíz y papa, mientras que el 95 % se dedica a actividades pecuarias y el 89 % a forestales. Para evaluar la calidad del agua, se seleccionaron tres estaciones de muestreo y se analizaron datos en época de estiaje y avenidas, empleando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, que abarca parámetros como coliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos, turbidez. En el ámbito agrícola, las actividades muestran una relación estadísticamente significativa con la contaminación del agua. Los resultados indicaron que los niveles de nitratos (2,3 a 12,3 mg/L) y fosfatos (2,3 a 5,0 mg/L) superan los límites permisibles, comprometiendo la calidad del agua en esta cuenca. Por otro lado, las actividades forestales no presentaron una conexión significativa con la contaminación, mientras que, en el uso pecuario, únicamente el manejo de pastos demostró un vínculo significativo ( $p$ -valor = 0.002) con la degradación de la calidad del agua. Respecto a los valores del Índice de Calidad del Agua (ICARHS) oscilaron entre 46.01 y 46.60, que lo califican como "MALO", estos hallazgos destacan el impacto negativo de las acciones antrópicas en los recursos hídricos de la región.

**Palabras clave:** Sistema Antrópico, Calidad del agua, Cuenca hidrográfica.

## I. INTRODUCCIÓN

El ser humano, a través de sus actividades, frecuentemente altera los equilibrios naturales, originando lo que se conoce como sistema antrópico. Este sistema está compuesto por elementos que reflejan el desarrollo tecnológico, urbanístico, industrial y cultural de la sociedad. Una de las manifestaciones más evidentes de esta influencia es la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo [1].

El agua, que cubre la mayor parte de nuestro planeta, es un recurso esencial para la vida. Dentro de los sistemas hídricos se encuentran los ríos, lagunas y otras masas de agua, que conforman las denominadas cuencas hidrográficas. Estas cuencas tienen características físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que las convierten en unidades clave para la gestión de los recursos hídricos [2]. En este contexto, la cuenca del río Doña Ana, ubicada en el distrito de Chota, presenta condiciones particulares que la hacen relevante para evaluar la interacción entre las actividades humanas y el estado del agua [3].

La obtención de información precisa sobre la calidad de los cuerpos de agua es fundamental para garantizar su uso

sostenible. Ejemplos internacionales, como el monitoreo del humedal de Spreewald en Alemania [4], evidencian que los estudios de calidad del agua permiten identificar actividades antropogénicas que afectan los recursos hídricos y, a partir de ello, diseñar estrategias de manejo adecuadas. Sin embargo, en la cuenca del río Doña Ana, las condiciones sociales y económicas, como la falta de servicios básicos de agua potable y desagüe, y la dependencia de la agricultura y la ganadería, han generado un impacto significativo en la calidad del agua [5].

La población de esta cuenca, conformada por aproximadamente 2,850 habitantes [6], depende principalmente de la agricultura, con cultivos como maíz, papa, hortalizas y árboles frutales, además de la crianza de ganado y otros animales [7]. Estas actividades, realizadas de manera intensiva y con un uso ineficiente de agroquímicos, han contribuido a la contaminación de los recursos hídricos por la entrada de contaminantes de origen antropogénico [8].

En este contexto, la presente investigación se planteó como objetivo general describir el sistema antrópico en relación con los usos agrícola, pecuario y forestal del suelo, y su vínculo con la calidad del agua en la cuenca del río Doña Ana. Los objetivos específicos incluyen determinar la relación entre las actividades humanas y la calidad del agua, así como caracterizar el estado actual del recurso hídrico en esta cuenca.

Este estudio busca generar información que sirva como base para la gestión sostenible de los recursos hídricos, destacando la necesidad de mitigar los impactos negativos de las actividades humanas y promover un uso eficiente del agua en la región.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de información y muestras de agua para determinar su calidad, se llevó a cabo en la cuenca del río Doña Ana ubicada en las coordenadas 752300 m y 767478 m Este, y 9275060 m 9285397 m Norte, la cual se ubica en altitudes comprendidas entre los 2215 y 3582 msnm y abarca un área de 8639.10 hectáreas [9] Fig. 1.

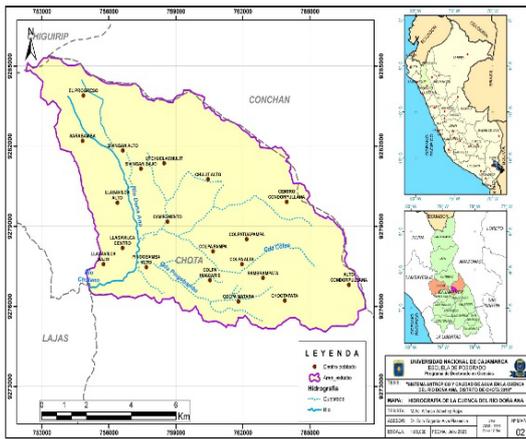


Fig. 1 Mapa de ubicación de la cuenca del río Doña Ana

### Materiales y equipos de campo

- GPS.
- Multiparámetro
- pHmetro
- Encuestas
- Cámara fotográfica
- Libretas de campo, papel secante y toalla.
- Cinta adhesiva, plumón indeleble y lápiz.
- Pizeta y agua destilada.
- Bolsas plásticas.
- Frascos de plástico de 500 y 1000 ml.
- Etiquetas para identificación de frascos.
- Guantes descartables, mascarillas.
- Cooler y refrigerantes.

### Materiales y equipos de laboratorio

TABLA 1.  
MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

Ítem	Parámetro	Materiales
01	Temperatura (°C)	Frasco de plástico de 1000 mL (Sin preservantes).
02	pH	
03	Oxígeno disuelto	Winkler 250 mL Reactivos: (Rx1 – Alkali-yoduro-azida y Rx2 – ácido sulfúrico) (Muestra refrigerada).
04	Sólidos disueltos totales (mg L <sup>-1</sup> )	Vaso de precipitado, probeta graduada, cono imhoff, soporte de cono imhoff, bageta.
05	Turbidez (NTU)	Vaso de precipitado, turbidímetro, viales, agua destilada.
06	Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	Pipeta, bombilla para pipeta, probeta, pizeta, fiolas de diferentes volúmenes, espectrofotómetro. Reactivos: Rx1 (Sulfaminanida) y Rx2 (N-naftil etilendiamida).
07	Fosfatos (mg L <sup>-1</sup> )	
08	DBO5	

09	Coliformes termotolerantes	Frasco de plástico de 1000 mL completamente lleno. (Sin preservantes)
----	----------------------------	---

### Materiales de gabinete

- Laptop, marca Lenovo, procesador Intel Core i5; para ordenar, clasificar y procesar la información.
- Microsoft Word 2016, Microsoft Excel 2016.
- Impresora multifuncional, marca Epson, modelo L3210.

### Metodología de la investigación

Para el desarrollo de la investigación, se procedió a realizar un trabajo diferenciado; según las variables identificadas.

### Sistema Antrópico

Para la obtención de datos relacionados con el sistema antrópico se elaboró una encuesta con preguntas que comprendían todos los objetivos planteados en la investigación, y se tomaron los datos a 223 personas.

TABLA 2.  
UNIDAD DE ANÁLISIS, POBLACIÓN Y MUESTRA

Unidad de análisis	Población	Muestra
Población.	2 178 personas, 532 hogares.	223 personas (1 por hogar)
Cultivos agrícolas: maíz, zanahoria, repollo, tubérculos	Número de ha. cultivadas	Encuesta a 223 personas
Pasturas.	Número de ha. de pastos	Encuesta a 223 personas
Ganado vacuno criollo de carne, ovinos, cuyes,	Número de ganado vacuno, ovino y cuyes.	Encuesta a 223 personas
Especie forestal.	Pinus, Eucaliptos.	Encuesta a 223 personas
Arboles frutales.	Palta, naranja, mandarina, manzano	Encuesta a 223 personas
El agua.	Tributarios y río principal Doña Ana.	3 sitios de toma de muestras.

Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017. Censo XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas [6].

### Selección y delimitación de los puntos de muestreo

En la cuenca del río Doña Ana, bajo el criterio de representatividad y accesibilidad se determinaron 3 sitios de muestreo (Tabla 3).

### Calidad de agua

Descripción del diseño:

- Selección de estaciones de muestreo (Tabla 3)
- Preparación de reactivos y soluciones.
- Elaboración de las curvas de calibración para la determinación de fosfatos y nitratos.
- Selección de los parámetros físico químicos y bacteriológicos.
- Recolección de muestras.

- Análisis de laboratorio.
- Procesamiento de datos.

TABLA 3.  
SITIOS DE MUESTREO EN LA CUENCA DEL RÍO DOÑA ANA

Número de sitio de muestreo	Nombre del sitio	Altitud msnm	Coordenadas UTM	
			E	N
1	Quebrada Colpa.	2 283	758364	9278854
2	Quebrada Pingobamba.	2 232	757349	9278491
3	Río Doña Ana.	2 222	755249	9276747

TABLA 4.  
PARÁMETROS SELECCIONADOS PARA DETERMINAR LOS ICA DEL AGUA DE LA CUENCA DEL RÍO DOÑA ANA

Nº	Parámetros	Tipo de Parámetro		
		Físico	Químico	Bacteriológico
1	Temperatura (°C)	X		
2	Turbidez (NTU)	X		
3	Sólidos Disueltos Totales (mg L <sup>-1</sup> )	X		
4	Oxígeno Disuelto (OD en % de saturación)		X	
5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg L <sup>-1</sup> )		X	
6	pH (en unidades de pH)		X	
7	Nitratos (NO3 <sup>-</sup> en mg L <sup>-1</sup> )		X	
8	Fosfatos (PO4 <sup>3-</sup> en mg L <sup>-1</sup> )		X	
9	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)			X

#### Técnicas de recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas mensualmente en dos momentos, en época de estiaje que comprendió los meses de junio, julio y agosto; y en época de mayor precipitación durante los meses de diciembre, enero y febrero, las cuales fueron tomadas cerca al punto de unión de la quebrada con el río principal y se recolectó en la corriente principal. Para el muestreo, transporte y conservación de las muestras se tomó en cuenta las recomendaciones de la Autoridad Nacional del Agua en la Resolución Jefatural 084-2020-ANA sobre la metodología para determinar los ICARHS [10].

#### Toma y conservación de muestras

1. Procedimientos de cadena de vigilancia:
  - En cada toma de muestra directamente del cuerpo de agua se utilizó un Multiparámetro, nos permitió registrar “in situ” los parámetros de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez.
  - Etiquetado de las muestras. En la etiqueta se detalló número, fecha, hora y lugar.

- Antes de sellar las muestras fueron llenadas a rebosar para evitar espacios vacíos y que se pierdan orgánicos volátiles.
  - Sellado de la muestra con sellos adhesivos y se consignó el número y lugar donde hizo el muestreo.
  - Toda la información detallada referente a cada muestra se registró en un cuaderno de campo, también se consigna todos los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de cada una de las muestras.
  - Traslado de muestras al laboratorio. Se trasladaron al laboratorio inmediatamente después de concluir con la etapa de muestreo.
2. Método de toma de las muestras. Se tomaron manualmente cada una de las muestras.
  3. Envases plásticos esterilizados para cada una de las muestras.

#### Conservación de muestras

- Conservación de las muestras a una temperatura de 4°C, para evitar la biodegradación.
- Método de detección de los parámetros físico, químico y bacteriológico

TABLA 5.  
MÉTODOS DE DETECCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

Ítem	Parámetro	Método de detección
01	Temperatura (°C)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017. Temperature. Laboratory and Field Method.
02	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
03	Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
04	Sólidos disueltos totales (mg L <sup>-1</sup> )	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180 °C.
05	Turbidez (NTU)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23rd Ed. 2017: Turbidity. Nephelometric Method
06	Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	EPA Method 300.1 Rev. 1.0. 1997 (Validado). Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography. Part A.
07	Fosfatos (mg L <sup>-1</sup> )	
08	DBO5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test.
09	Coliformes termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017. Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

Fuente: Laboratorio Regional del Agua

### Análisis Estadístico

Se utilizó el programa estadístico Excell versión 2019 para calcular los valores promedios de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos considerados en el estudio de las tres estaciones monitoreadas, así mismo para la correlación entre variables se utilizó el coeficiente de Pearson (r), también se empleó la estadística descriptiva como media, moda, desviación estándar y el paquete estadístico SPSS versión 26, en español.

### Cálculo del ICARHS

Se aplicó la fórmula elaborada por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente CCMEWQI

$$CCMEWQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

F1 – Alcance: cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa ECA respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_1 = \frac{\text{Nº de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Nº total de parámetros a evaluar}}$$

F2 – Frecuencia: cantidad de datos que no cumplen con los valores establecidos en la normativa ECA respecto al total de parámetros a evaluar.

$$F_2 = \frac{\text{Nº de los datos que NO cumplen los ECA}}{\text{Nº total de datos evaluados}}$$

F3 – Amplitud: medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left( \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} \right) * 100$$

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA.

$$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA.

$$\text{Excedente} = \left( \frac{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1$$

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)
95 – 100	Excelente	0 112 255
80 – 94	Bueno	0 197 255
65 - 79	Regular	85 255 0
45 - 64	Malo	255 170 0
0 - 44	Pésimo	255 0 0

Fig. 2 Escala de valoración del ICARHS

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Sistema antrópico

#### - Actividades económicas

Para el análisis del sistema antrópico, se evaluaron las actividades económicas, la capacidad técnica para la producción agraria y las prácticas agrícolas implementadas por los pobladores. Se identificaron actividades económicas predominantes en tres sectores de la cuenca: - Parte alta: Agricultura, ganadería y forestal. Parte media: Agricultura, ganadería, forestal y comercio; y, en la Parte baja: Agricultura, ganadería, forestal, comercio, transporte e industrias lácteas [11].

#### - Capacidad técnica para la producción agraria en la cuenca del río doña Ana

La principal actividad económica en la cuenca del río Doña Ana es la producción agraria, realizada por el 100 % de las familias, mientras que el 95 % también se dedica a la actividad pecuaria y el 89 % a la actividad forestal. Esto resalta la importancia de la agricultura como el eje central de la economía local. Dentro de los cultivos predominantes, el maíz ocupa la mayor superficie sembrada con 78,213 ha y un rendimiento promedio de 3,250 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de la papa con 62,381 ha y un rendimiento promedio de 6,000 kg ha<sup>-1</sup>, y la alverja, que abarca 15.5 ha con un promedio de 1,000 kg ha<sup>-1</sup>.

A pesar de la relevancia de estas actividades agrícolas, se identifican varios factores que limitan los rendimientos. Según las encuestas realizadas, el 52 % de los productores atribuyen los bajos rendimientos al empobrecimiento y la infertilidad de los suelos; el 26 % menciona la variabilidad en el régimen de lluvias; el 14 % indica la falta de disponibilidad oportuna de agua; y el 75 % señala la incidencia de plagas y enfermedades como principal limitante [12].

En cuanto a las prácticas agrícolas utilizadas, el 84 % de los productores indicaron implementar zanjas de infiltración como medida para minimizar la degradación del suelo; el 70 % mezcla el suelo con materia orgánica; y el 65 % utiliza la rotación de cultivos. Sin embargo, solo el 4 % realiza análisis de suelo, lo que evidencia una baja adopción de prácticas técnicas orientadas al monitoreo de la fertilidad. Respecto al riego, el 74 % de los agricultores controla de manera empírica la cantidad de agua que ingresa a sus parcelas.

El uso de insumos agrícolas es también una práctica común, con un 72 % de los productores afirmando que su aplicación es fundamental para obtener beneficios en los rendimientos. Ya que se ha demostrado que la rotación de cultivos aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, mejora la estructura y la bioactividad del suelo, interrumpe los ciclos de vida, reduce la incidencia de plagas y enfermedades y reduce el desarrollo de malezas [13].

Por otro lado, la rotación de cultivos se identificó como una práctica relevante, ya que el 65 % de los productores la emplean para mejorar la sostenibilidad del suelo. Como

señalan esta práctica favorece la disponibilidad de nutrientes, mejora la estructura y la bioactividad del suelo, interrumpe ciclos de plagas y enfermedades, y reduce el desarrollo de malezas, contribuyendo además a disminuir los niveles de erosión. Este enfoque es crucial para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles [14].

En síntesis, los productores de esta región han demostrado tener conocimientos sobre prácticas agrícolas sostenibles, aunque se requiere fortalecer la implementación de tecnologías como el análisis de suelo y sistemas de riego eficientes. Los limitantes identificados, como la infertilidad del suelo, las plagas y la falta de agua, reflejan la necesidad de estrategias integrales que incluyen la capacitación técnica, el acceso a insumos de calidad y la optimización de recursos hídricos para mejorar los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales.

### B. Calidad del agua

#### - Resultados de la percepción de los pobladores sobre la calidad del agua del río Doña Ana en relación a las actividades agrícolas, pecuarias y forestal:

TABLA 6  
RELACIÓN ENTRE LAS ACTIVIDADES AGRARIAS Y LA PERCEPCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEL RÍO DOÑA ANA.

Actividades agrarias	Contaminación del agua del río Doña Ana		
	N	Valor del chi calculado	p-valor
Problemas de producción	223	26.122	0.2017
Sus parcelas producen menos	223	17.040	0.002
Minimizar degradación	223	29.655	0.000
Labranza de la tierra	223	6.880	0.142
Riego	223	8.850	0.065
Insumos agrícolas	223	3.620	0.460

La relación entre las actividades agrarias y la percepción de la contaminación del agua del río Doña Ana se observa claramente en los resultados de la tabla 6. Los factores que muestran una relación estadísticamente significativa con la percepción de la contaminación son los siguientes:

Sus parcelas producen menos (p-valor = 0.002): Este resultado sugiere que los agricultores que perciben que sus parcelas o chacras están produciendo menos también tienen una percepción más negativa de la contaminación del agua del río. Es posible que la disminución de los rendimientos agrícolas esté vinculada a la degradación del medio ambiente, incluida la contaminación del agua.

Minimizar la degradación (p-valor = 0.000): Las prácticas que buscan minimizar la degradación del suelo están fuertemente asociadas con una percepción de contaminación

del agua. Esto indica que aquellos agricultores que están más enfocados en proteger y mejorar el suelo también son más conscientes de los problemas de contaminación en el río.

Las otras actividades agrarias no muestran una relación estadísticamente significativa con la percepción de la contaminación. Esto implica que, aunque estas prácticas son comunes en la actividad agrícola, no tienen una conexión directa con la percepción de la contaminación en este contexto específico.

TABLA 7  
RELACIÓN ENTRE LAS PRÁCTICAS PECUARIAS Y LA PERCEPCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEL RÍO DOÑA ANA

Prácticas pecuarias	Contaminación del agua del río Doña Ana		
	N	Valor del chi calculado	p-valor
Prácticas pecuarias	223	1,521	0,823
Instalación	223	4,134	0,388
Manejo sanitario	223	2,115	0,715
Alimentación y agua	223	8,513	0,074
Mejoramiento genético	223	2,869	0,580
Manejo de pastos	223	17,038	0,002

En la Tabla 7, se observa que, de las seis prácticas pecuarias analizadas, solo el manejo de pastos (con un p-valor de 0.002) se asocia de manera significativa con la percepción de la contaminación del agua del río Doña Ana. Este hallazgo sugiere que las actividades relacionadas con el manejo de los pastos son un factor importante que contribuye a la contaminación del agua en la región, mientras que las otras prácticas no tienen una relación estadísticamente significativa con dicha contaminación.

Es importante destacar que el manejo de pastos puede incluir prácticas como el riego con aguas residuales debido a la escasez de agua en la zona, lo que podría ser una fuente de contaminación [15]. Este tipo de riego, junto con otros factores como las escorrentías o el uso de aguas subterráneas contaminadas, podría estar contribuyendo a la contaminación del agua del río Doña Ana, afectando tanto el suelo como las pasturas utilizadas en la ganadería.

El resultado también resalta que, aunque los usos de otras prácticas no muestran una relación significativa con la contaminación, es fundamental no subestimar la importancia de las prácticas agrícolas y pecuarias en el ciclo de contaminación del agua. La FAO advierte que las prácticas agrícolas insostenibles representan una amenaza grave para la salud humana y los ecosistemas, lo cual es un desafío que a menudo no se percibe claramente por los mismos agricultores [16].

Este contexto muestra la relevancia de implementar un monitoreo adecuado de las prácticas pecuarias, especialmente en lo que respecta al riego de pasturas, para reducir la

contaminación y garantizar un manejo más sostenible de los recursos hídricos en la cuenca del río Doña Ana.

**- Resultados de los análisis de la calidad del agua: parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en los tres puntos de monitoreo y el uso de estas aguas de acuerdo al D.S. N° 04- 2017-MINAM**

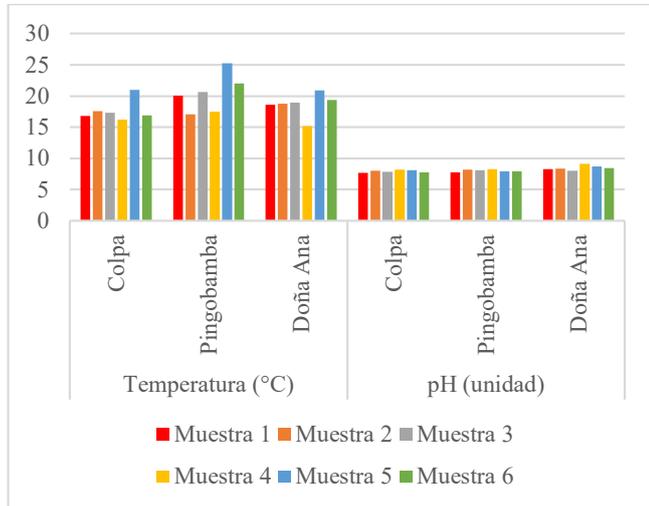


Fig. 3 Temperatura y pH en las quebradas Colpa, Pingobamba y río Doña Ana

La Figura 3 muestra los valores de la variación de la temperatura y el pH en los tres puntos monitoreados: las quebradas Colpa, Pingobamba y el río Doña Ana. Los resultados reflejan la influencia de la altitud sobre la temperatura, observando que las temperaturas son más bajas en la parte alta de la cuenca hidrográfica y aumentan a medida que se desciende hacia las zonas más bajas del río Doña Ana. Este comportamiento es consistente con lo que se espera en zonas de diferentes elevaciones [17].

En cuanto al pH, los valores registrados en los tres puntos monitoreados oscilan entre 7.7 en la quebrada Colpa y 9.11 en el río Doña Ana, lo que indica un pH ligeramente alcalino en todas las ubicaciones. Estos valores se mantienen dentro de los límites establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM para los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) [18] para agua. Sin embargo, en el caso del río Doña Ana, se observa que en el mes de febrero el pH alcanzó 9.11, un valor ligeramente superior al límite recomendado, pero este incremento se considera mínimo y se atribuye principalmente al suelo calcáreo de la zona y las actividades domésticas locales, las cuales pueden influir en el pH del agua.

Este comportamiento sugiere que, aunque el pH se encuentra dentro de los rangos establecidos para la mayoría de los cuerpos de agua de la sierra, existen factores locales que pueden ocasionar pequeñas variaciones. La presencia de suelos calcáreos y las actividades humanas en la zona son factores que deben ser considerados en los estudios de calidad del agua, ya

que podrían contribuir a pequeños cambios en el pH, aunque estos no sean suficientes para violar los límites establecidos por los estándares de calidad ambiental.

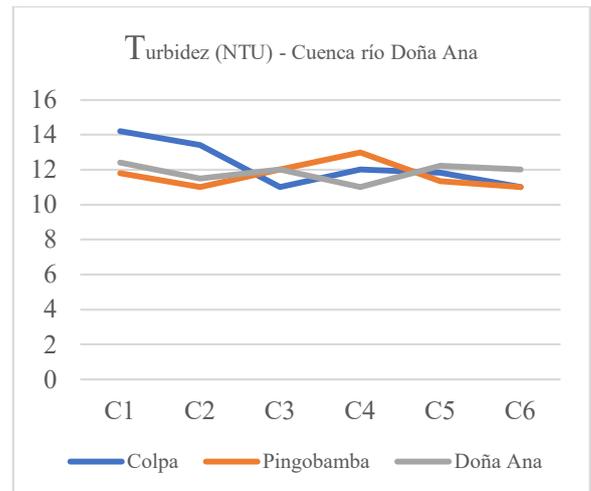


Fig. 4 Turbidez (NTU) en las quebradas Colpa, Pingobamba y río Doña Ana

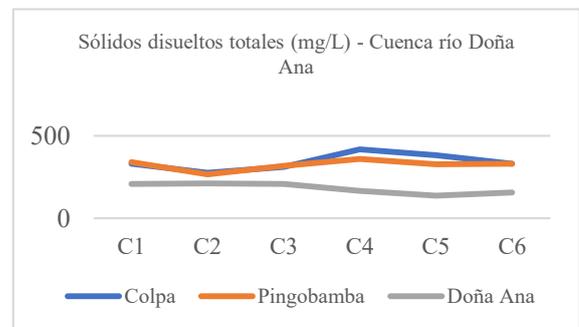


Fig. 5 Sólidos totales (mg/L) en las quebradas Colpa, Pingobamba y río Doña Ana

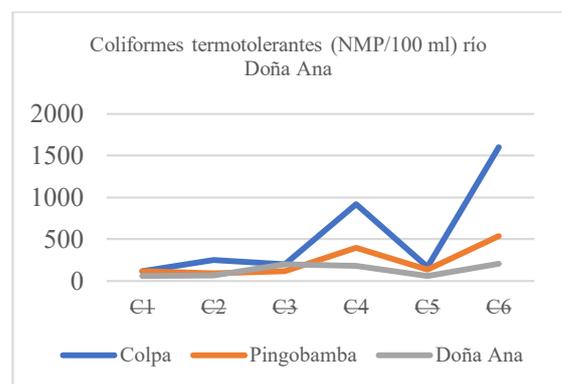


Fig. 6 Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en las quebradas Colpa, Pingobamba y río Doña Ana

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan los resultados de varios parámetros de calidad del agua, como turbidez, sólidos totales disueltos y coliformes termotolerantes en las quebradas Colpa, Pingobamba y el río Doña Ana.

Turbidez: La turbidez en los tres puntos muestreados varía entre 11 UNT y 14.2 UNT, siendo la mayor concentración

registrada en la quebrada Colpa. Estos resultados indican que la turbidez en estos puntos está dentro de los límites establecidos por la normatividad vigente [18], lo que significa que las aguas de la cuenca del río Doña Ana cumplen con este estándar de calidad. La turbidez está relacionada con la presencia de materia orgánica, bacterias, virus y protozoos patógenos [19] que pueden absorber calor, aumentando la temperatura y disminuyendo la concentración de oxígeno en el agua, lo que afecta la vida acuática [20].

**Sólidos totales disueltos:** Sus valores varían entre 139 mg/L y 419 mg/L, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos para los ríos de la sierra, aunque en la quebrada Colpa la concentración es notablemente más alta que en los otros puntos monitoreados. Este aumento podría deberse a procesos de erosión naturales y acciones antrópicas en la zona, como la eliminación de la cobertura del suelo, lo que favorece el arrastre de materiales por escorrentía, especialmente en la época lluviosa. A mayor concentración de sólidos totales disueltos, la turbidez también tiende a aumentar, lo que puede reducir el crecimiento de la vida acuática debido a la menor penetración de luz y la disminución de oxígeno disponible en el agua [22].

**Coliformes termotolerantes:** Los coliformes termotolerantes fueron menos de 2,000 NMP/100 ml en todos los puntos muestreados, lo cual está por debajo del límite máximo establecido para los ríos de la sierra. Sin embargo, en la quebrada Colpa, se observó una concentración más alta de 1,600 NMP/100 ml, en comparación con la quebrada Pingobamba y el río Doña Ana, que presentaron valores más bajos. Este incremento en la quebrada Colpa podría estar relacionado con el arrojo de aguas servidas y la proximidad de letrinas cerca de esta quebrada, lo que sugiere una fuente de contaminación microbiológica proveniente de actividades humanas [23].

En resumen, los resultados muestran que, en general, la calidad del agua en los puntos monitoreados cumple con los estándares de calidad ambiental establecidos, aunque algunos parámetros, como los sólidos totales disueltos en la quebrada Colpa y la presencia de coliformes termotolerantes, requieren atención, especialmente debido a las influencias de actividades humanas y procesos naturales como la erosión. Esto refuerza la necesidad de implementar medidas para mejorar la protección de los cuerpos de agua y mitigar la contaminación en la región.

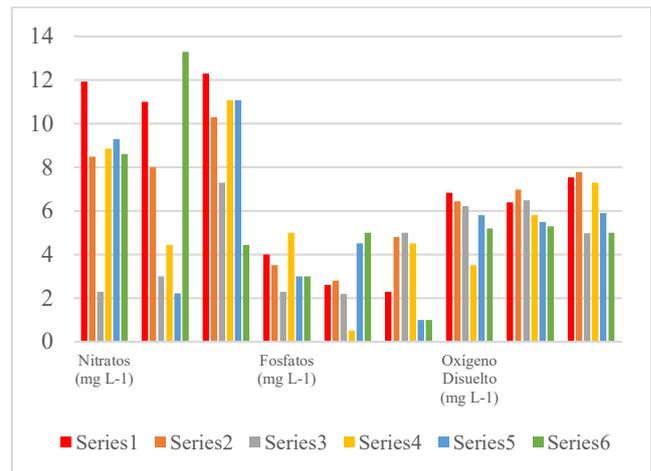


Fig. 7 Nitros (mg L-1) y Fosfatos (mg L-1) y Oxígeno Disuelto (mg L-1) en Colpa, Pingobamba y Doña Ana

En la Figura 7, se observa que las concentraciones de fosfatos en los tres puntos de monitoreo varían entre 0.5 y 5 mg L<sup>-1</sup>, superando el valor establecido para ríos de la sierra ( $\geq 4$  mg L<sup>-1</sup>). Este exceso puede atribuirse a actividades antropogénicas como el uso de detergentes en el lavado de ropa, fertilizantes e insecticidas (carbamatos y compuestos organofosforados como paratión y malatión) en actividades agrícolas. El fosfato, al ser un nutriente esencial para las algas, favorece el crecimiento descontrolado de materia orgánica viva, intensificando el proceso de eutrofización [24].

En cuanto a la concentración de nitros, los valores registrados se encuentran dentro de los límites aceptables según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM [18]. Sin embargo, en las muestras 1, 4 y 6 se evidenció un aumento de este parámetro en los tres puntos de monitoreo: Colpa, Pingobamba y Doña Ana, respectivamente. Este incremento podría deberse al uso de fertilizantes en las áreas de cultivo adyacentes y a la presencia de animales mayores y menores en las cercanías de los ríos.

La concentración de oxígeno disuelto presentó valores entre 3.5 mg L<sup>-1</sup> (Colpa, al inicio de la época lluviosa) y 7.78 mg L<sup>-1</sup> (Doña Ana, en época seca). Los valores más bajos están relacionados con la alta concentración de fosfatos, que favorecen la eutrofización mediante el crecimiento de plantas y algas acuáticas, las cuales consumen oxígeno durante la fotosíntesis. Adicionalmente, el bajo caudal limita la turbulencia de los ríos, impidiendo la entrada de oxígeno al agua. Por el contrario, los valores más altos pueden explicarse por una menor concentración de materia orgánica en épocas de menor precipitación. Cabe mencionar que el oxígeno disuelto se mantuvo por encima del límite establecido por el ICARHS ( $\geq 5$  mg L<sup>-1</sup>) en algunas mediciones [25]. Respecto a la demanda bioquímica de oxígeno se encontró por debajo del límite permitido para ríos de la sierra (10 mg L<sup>-1</sup>).

- **Resultados del índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en los 3 puntos de monitoreo en la cuenca del río Doña Ana, distrito de Chota-2018, según calificación ICARHS**

TABLA 8  
ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS  
SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RÍO DOÑA ANA

LUGAR	VALOR ICARHS HALLADO	CALIFICACION	COLOR
Colpa	46.01	MALO	Malo
Pingobamba	46.60	MALO	Malo
Doña Ana	46.44	MALO	Malo

En la TABLA 8 se reporta los valores de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) en quebrada Colpa: 46.01, quebrada Pingobamba: 46.60 y río Doña Ana: 46.44, valores comprendido dentro de los límites 45-64, que según el ICARHS [27] califica dentro de la categoría de “MALO” y que corresponde a un color anaranjado (RGB 255, 170, 0). Lo que indica que las aguas de la cuenca del río Doña Ana presentan problemas de contaminación al no cumplir con los objetivos de calidad, y que frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas, lo que nos indicaría que en la cuenca del río Doña Ana sus aguas se ven afectadas en su calidad ya que se encuentra influenciada por las descargas de las aguas residuales domésticas y el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y forestales no puntuales como residuos fecales de animales, aplicación de fertilizantes en la siembra de sus principales cultivos, así como el uso de diferentes tipos de detergentes empleados en la limpieza doméstica [26], lo que nos indica que la descarga de aguas residuales domésticas sin tratar es la principal causa del deterioro de la calidad del agua, concluyendo que se requieren diferentes métodos de tratamiento y disposición para controlarlos y evitar así la contaminación de estos ecosistemas acuáticos.

#### IV. CONCLUSIONES

A partir de la caracterización del sistema antrópico de la cuenca hidrográfica del río Doña Ana, se evidenció que: el 100% de los habitantes realiza actividad agrícola, siendo el maíz y la papa los cultivos predominantes. El 95% de la población se dedica a la actividad pecuaria; y, el 89% de los habitantes desarrolla actividades forestales.

La calidad del agua en el río Doña Ana, según la percepción de los pobladores, presenta variaciones entre contaminada, poco contaminada y no contaminada, dependiendo del uso del suelo: En el uso agrícola, únicamente el uso del suelo para agricultura está estadísticamente relacionado con la contaminación del agua. En el uso forestal, ninguna de las actividades presenta relación estadísticamente significativa con la contaminación del agua. En el uso pecuario, sólo el manejo de pastos muestra una relación estadísticamente significativa con la contaminación de las aguas ( $p$ -valor = 0.002), mientras que otras prácticas pecuarias no contribuyen a la contaminación.

Los valores del Índice de Calidad del Agua (ICARHS) obtenidos para las quebradas Colpa y Pingobamba, así como el río Doña Ana, oscilan entre 46.01 y 46.60, lo que

corresponde a la calificación "MALO". Esto sugiere que las aguas de estos cuerpos podrían estar experimentando problemas de contaminación asociados a actividades antropogénicas

#### REFERENCIAS

- [1] González, P., & Rodríguez, M. (2020). La conservación de los bosques en el siglo XXI. *Revista Mundial de Bosques*, 15(3), 45-59. <https://doi.org/10.1234/5678>
- [2] García, M. (2012). La hidrósfera. El ciclo del agua en el planeta. La calidad del agua. España.
- [3] Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: Agua Subterránea-Acuíferos. Lima, Perú. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- [4] WETwin (2012). Estudio de humedales en conjunto con sus cuencas hidrográficas de Europa, África y Sudamérica. Disponible en [http://www.wetwin.eu/about\\_casestudy\\_esp.html#:~:text=EI%20hu%20medal%20Spreewald%20cubre%20una,corresponde%20al%20bosque%20caducifolio%20templado](http://www.wetwin.eu/about_casestudy_esp.html#:~:text=EI%20hu%20medal%20Spreewald%20cubre%20una,corresponde%20al%20bosque%20caducifolio%20templado)
- [5] Méndez, J. A. y Méndez, J. M. (2010). J.M. Méndez Sayago. “Tasas por utilización del agua ¿Instrumento de asignación eficiente del agua o mecanismo de financiación de la gestión ambiental?. Perú”.
- [6] Instituto Nacional de Recursos Naturales. [INRENA] (2007). Proyecto de Irrigación Chota. Resumen Ejecutivo. Lima. Perú.
- [7] Aquino, P. (2017). Calidad del agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Disponible en [chrome-extension://efaidnbmninnkpcjpcglclefindmkaj/https://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176\\_aguasresiduales.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnkpcjpcglclefindmkaj/https://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/176_aguasresiduales.pdf)
- [8] Bohrerova, Z.; E. Park; K. Halloran & J. Lee. (2016). Water Quality Changes Shortly After Low-Head Dam Removal Examined With Cultural and Microbial Source Tracking Methods. *River Research and Applications* 33: 113-122.
- [9] Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2017). Censos nacionales 2017 – XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas. Inei.gob.pe. Disponible en [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1558/](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1558/)
- [10] Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2020). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) (Resolución Jefatural 084-2020- ANA) URI <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>
- [11] Espinosa-Espinosa, J., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Ortiz-Solorio, C., Exebio-García, A y Landeros-Sánchez, C. (2018). Factores que afectan la producción agrícola bajo riego: cómo medirlos y estudiar su efecto. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. DOI: 10.24850/j-tyca-2018-02-07. Disponible en <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1675/1340>
- [12] Fernandez Huansi, A. (2021). Las actividades económicas del Perú. Las actividades extractivas: agricultura, pesca, minería y explotación forestal. Aplicación didáctica. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/6583>
- [13] Gómez, M., Mossos, N. y Herrera, R. (2021). Agricultural characterization of small farmers related to application of good agricultural practices in the municipality of Argelia, Valle del Cauca, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-0266-5669>
- [14] Díaz, S. y Morejón, R. (2018). Impacto de buenas prácticas agrícolas en el desarrollo de una finca en Los Palacios. Instituto de Información Científica y Tecnológica Cuba. Avances, vol. 20 (4), Cuba Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=637869147004>
- [15] González-Fragozo, H., Zabaleta-Solano, C., 2, Devia-González, J., Moya-Salinas, Y. y Afanador-Rico, O. (2020). Effect of irrigation with treated wastewater on microbiological quality of the soil and King Grass. *rev.udcaactual.divulg.cient.* vol.23 no.2 Bogotá <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- [16] FAO (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. Informe. Roma. Disponible en <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>
- [17] Sayaverde, E. (2021). Determinación de la calidad de las aguas de los ríos Chotano y Doña Ana, Chota – Cajamarca. Tesis para título de ingeniero forestal y ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/238/>

INFORME%20FINAL%20DE%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- [18] Ministerio del Ambiente [MINAM] (2017). Decreto Supremo N° 004-2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima. Perú. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- [19] Godoy, V. M. (2018). Analisis comparativo de la disminucion de la turbidez en el proceso de floculacion utilizando un floculante comercial y la paleta de Tuna. Ucv, 0–116.
- [20] Suarez, Y., & Rosas, N. (2020). Aplicación de superficie de respuesta en la eficiencia de remoción de turbidez de agua empleando almidón de Dioscorea bulbifera y Musa paradisiaca. 1–303. [papers2://publication/uuid/45D7E632-B571-4218-9E47-8B4457FEA9D3](https://publication/uuid/45D7E632-B571-4218-9E47-8B4457FEA9D3)
- [21] Fragoso-Castilla, P. J., Rubiano, L. A., & Kerguelen, J. J. (2021). Análisis de variables fisico-químicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). *Información tecnológica*, 32(1), 113–122. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000100113>
- [22] Aveiga Ortiz, A. M., Noles, P., De la Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcántara, F. (2019). Variaciones fisico-químicas de la calidad del agua del río Carrizal en Manabí. *Enfoque UTE*, 10(3), 30-41. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n3.423>
- [23] Mejía Taboada, L. M., Zelada Herrera, M. E., Torres García, L. A., & Cuse Quispe, J. (2021). Análisis microbiológico del agua de consumo humano del Centro Poblado Pachapiriana, Provincia de Jaén, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(2). <https://doi.org/10.25127/ucni.v4i2.729>
- [24] Bolaños-alfaro, J. D., Cordero-castro, G., & Segura-araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología En Marcha*, 30(4), 15–27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- [25] Mena, L., Salgado, V., Benavidez, C., Vega, I. y Coto, J. (2015). Comportamiento del oxígeno disuelto en el río Burío Quebrada Seca, Heredia. *Observatorio Ambiental*, 13-20. <http://www.observatorioambiental.una.ac.cr/index.php/indicadores-ambientales/123-comportamiento-del-oxigeno-disuelto-en-el-rio-burio-quebrada-seca-heredia>
- [26] Rodríguez, C., Silva M. (2015). Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Universidad de Costa Rica - Sede de Occidente Revista Pensamiento Actual - Vol. 15 - No. 25, 2015 ISSN impreso: 1409-0112 / ISSN electrónico: 2215-3586. Pag 85-97. Disponible en Dialnet-Calidad Del Agua En La Microcuenca Alta De La Quebrada Ester-5821472 - Universidad de Costa - Studocu*
- [27] Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2020). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) (Resolución Jefatural 084-2020- ANA) URI <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>