



Fondo Editorial "Exponencial"
Universidad Interamericana para el Desarrollo (UNIDX)

Contaminación hídrica y del suelo en el cauce La Achirana, Ica

Investigación aplicada, ICA

Angela Beatriz Hernández Aparcana
René Anselmo De la Torre Castro
Ricardo Félix Belli Carhuayo
Luis Alberto Massa Palacios
Raphael René De la Torre Poma



UNID
UNIVERSIDAD INTERAMERICANA
PARA EL DESARROLLO

CONTAMINACIÓN HÍDRICA Y DEL SUELO EN EL CAUCE LA ACHIRANA, ICA

Investigación científica

© Angela Beatriz Hernández Aparcana
<https://orcid.org/0009-0008-5855-7203>

René Anselmo De la Torre Castro
<https://orcid.org/0000-0001-7658-6851>

Ricardo Félix Belli Carhuayo
<https://orcid.org/0000-0002-2885-8071>

Luis Alberto Massa Palacios
<https://orcid.org/0000-0002-6570-2869>

Raphael René De la Torre Poma
<https://orcid.org/0000-0001-5584-0339>

EDITADA POR:

© UNIVERSIDAD INTERAMERICANA PARA EL DESARROLLO (UNIDX) - FONDO EDITORIAL “EXPONENCIAL”

DIRECCIÓN: AV. BOLIVIA NRO. 626 (A 2 CDRAS DE AV. ALFONSO UGARTE) BREÑA, LIMA, LIMA, PERÚ.

ISNI: 0000 0004 6101 3964

<https://isni.org/isni/0000000461013964>

Name: Inter-American Development University

Universidad Interamericana para el Desarrollo

Location / Nationality: Peru Bolivar

Correo: fondoeditorial@unidx.edu.pe

Portal Web: <https://unidx.edu.pe>

Primera edición digital: Marzo del 2026

Libro digital disponible en: <https://fondoeditorial.unidx.edu.pe>

Hecho el depósito legal en La Biblioteca Nacional Del Perú N° 2026-02786

ISBN: 978-612-99367-0-3

DOI: <https://doi.org/10.56275/wt1m8e70>

REVISIÓN POR PARES CIEGOS APROBADO POR EL CONSEJO EDITORIAL DEL FONDO EDITORIAL “EXPONENCIAL”.

LIBRO RESULTADO DE INVESTIGACIÓN Y CON REVISIÓN POR PARES CIEGOS.
SELLO EDITORIAL: FONDO EDITORIAL (978-612-99120)

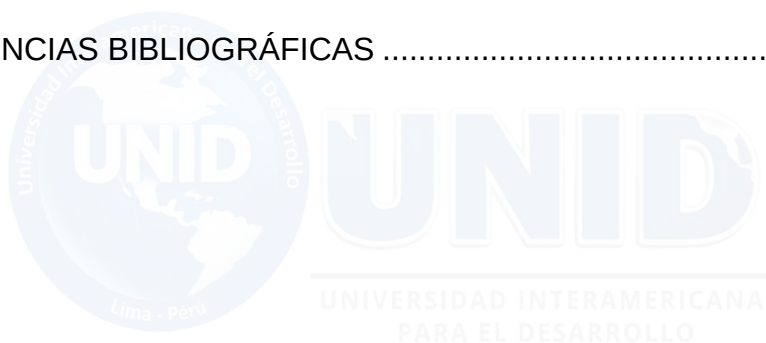
LIMA - PERÚ
2026

Tabla de Contenido

RESUMEN	6
CAPÍTULO I	7
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Descripción de la situación problemática	8
1.2. Antecedentes de la investigación	9
1.2.1. Antecedentes internacionales	9
1.2.2. Antecedentes nacionales	10
1.2.3. Antecedentes locales	11
1.3. Justificación e importancia	12
1.3.1. 1.7.1 Justificación	12
1.3.2. Importancia	13
1.4. Bases teóricas	13
1.4.1. Aguas residuales	13
1.4.2. Aguas residuales domesticas	13
1.4.3. Contaminación de agua	14
1.4.4. Contaminación de agua por aguas residuales	14
1.4.5. Contaminación de suelo	14
1.4.6. Contaminación de suelo por aguas residuales	14
1.4.7. Calidad de agua	14
1.4.8. ECA agua	14
1.4.9. Subíndice de Uso Sostenible de Suelo (SUSS)	15
CAPÍTULO II	16
2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	16
2.1. Delimitación geográfica y ubicación del área de estudio.	16
2.1.1. Delimitación geográfica	16
2.1.2. Ubicación del área de estudio	17
2.2. Tipo, nivel y diseño de la investigación	18

2.2.1.	Tipo de investigación.....	18
2.2.2.	Nivel de investigación.....	18
2.2.3.	Diseño de investigación	18
2.3.	Criterios de inclusión y exclusión	19
2.3.1.	Criterios de inclusión	19
2.4.	Criterios de exclusión.....	19
2.5.	Población y muestra	19
2.5.1.	Población	19
2.5.2.	Muestra	20
2.5.3.	Técnicas para la recolección de datos	22
2.5.4.	Instrumentos para recolección de datos.....	23
2.6.	Procedimiento para la recolección de datos	24
2.6.1.	Procedimiento para determinar el nivel de contaminación de agua	24
2.6.2.	Procedimiento para determinar el nivel de contaminación de suelo.....	24
2.7.	Técnicas de análisis e interpretación de datos.	25
2.7.1.	Técnica para interpretar el nivel de contaminación de agua	25
2.7.2.	Técnicas para interpretar el nivel de contaminación de suelo.....	25
CAPÍTULO III		26
3.	RESULTADOS	26
3.1.	Contaminación de agua por vertimiento de aguas residuales.	26
3.1.1.	Toma de muestras	26
3.1.2.	Parámetros obtenidos in situ	29
3.1.3.	Resultados de laboratorio	30
3.1.4.	Interpretación de resultados.....	30
3.2.	Contaminación de suelo por vertimiento de aguas residuales.	31
3.2.1.	Toma de muestras	31
3.3.	Resultados de laboratorio	32
3.3.1.	Cálculo de SUSS.....	33

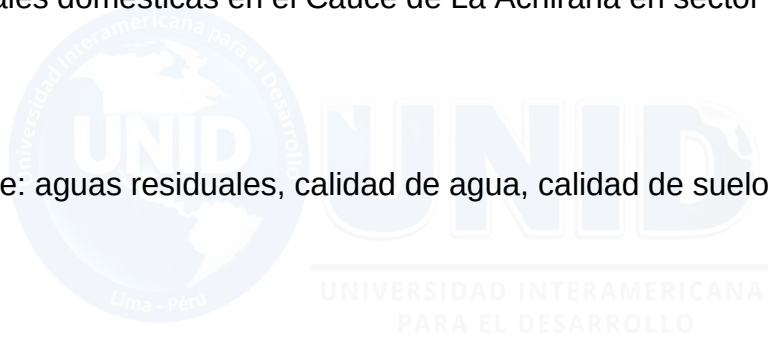
3.3.2. Ubicación del SUSS de la tabla de rango interpretativo.....	35
3.3.3. Interpretación de resultados.....	36
CAPÍTULO IV	37
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.1. Discusión de resultados para determinar el nivel de contaminación de agua del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.	37
4.2. Discusión de resultados para determinar el nivel contaminación de suelo del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.	38
5. CONCLUSIONES.....	41
6. RECOMENDACIONES.....	42
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44



RESUMEN

Determinar el nivel de Contaminación de agua y suelo por aguas residuales en el cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023. Enfoque cuantitativo no experimental básico, de nivel descriptivo y transversal. Técnicas, procedimientos para recolección de datos: Muestreo de agua en 3 puntos y parámetros determinados por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos superficiales; muestreo de suelo con 2 muestras compuestas de 2 submuestras y parámetros determinados por el Subíndice de Uso Sustentable de Suelo (SUSS), para el posterior cálculo de este; para ambos casos la muestra fue intensional no probabilística. El análisis de laboratorio en muestras de aguas, evidencia que se supera el parámetro de coliforme termo tolerante 11 y 649 veces para riego no restringido, 23 y 1299 veces para riego restringido del ECA: Categoría 3, D1; análisis de laboratorio y el cálculo del SUSS, determinó que la calidad del suelo es pobre. El nivel de contaminación de agua y suelo por aguas residuales domesticas en el Cauce de La Achirana en sector Santa Rosa - Parcona; es alta.

Palabras clave: aguas residuales, calidad de agua, calidad de suelo, contaminación.





CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se desarrolló a partir de una problemática ambiental observada en el cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa del distrito de Parcona, donde se identificaron múltiples conexiones de aguas residuales domésticas vertidas directamente al cuerpo de agua. Para abordar esta situación, se realizó un trabajo de campo que consistió en un programa de monitoreo ambiental de la calidad del agua y del suelo, a través de la toma y análisis de muestras en puntos estratégicos del cauce, seleccionados en función de su cercanía a los focos de contaminación.

El presente informe está estructurado en ocho capítulos, descritos a continuación:

El Capítulo I, Introducción, desarrolla el planteamiento del problema, los antecedentes, la formulación del problema, objetivos, hipótesis, variables, importancia y justificación de la investigación.

El Capítulo II, Estrategia metodológica, describe el tipo, nivel y diseño de investigación, los criterios de inclusión y exclusión, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección y análisis de datos.

El Capítulo III, Resultados, contiene la toma de muestras, determinación de los parámetros en campo, interpretación de resultado y demás hallazgos obtenidos a partir del monitoreo de calidad de agua y suelo.

En el Capítulo IV, Discusión, se interpretan los resultados a la luz de los objetivos planteados y se relacionan con otras investigaciones previas.

El Capítulo V, Conclusiones, resume los hallazgos principales. El Capítulo VI, Recomendaciones,

El Capítulo VII, contiene las referencias bibliográficas utilizadas, y por ultimo

El Capítulo VIII incluye los anexos con información complementaria y evidencia del trabajo de campo realizado.

1.1. Descripción de la situación problemática

En las últimas décadas, se ha evidenciado el problema de un inadecuado tratamiento de aguas residuales provenientes de actividades antropogénicas, dado que estas son descargadas en distintos cuerpos de agua, estos no son capaces de neutralizar la carga contaminante, por lo tanto, van perdiendo sus condiciones naturales para sustentar un equilibrio ecológico. Como resultado los cuerpos de agua van perdiendo calidad para su aprovechamiento, como son: fuentes de abastecimiento de agua, vías de transporte, otros.

[1]

El crecimiento de las poblaciones en América Latina y el Caribe, han generado el aumento de la producción de aguas residuales; lo cual ha dado a notar la poca capacidad de gestión de los gobiernos para atender esta situación, esto se ve en una disposición final no adecuada ni controlada terminando la mayoría de estas aguas en cuerpos de agua sin las condiciones ambientales y sanitarias óptimas. [2]

Las actividades antrópicas aprovechan los recursos hídricos de las cuencas del Perú, tanto para captación de agua (consumo humano, centrales hidroeléctricas, actividades industriales) y la evacuación de estas (efluentes líquidos urbanos, industriales, residuos sólidos en los ríos, entre otros). Dado que el recurso de agua se emplea para múltiples actividades, se ve que estas están impactando negativamente sobre él, afectando factores ambientales, tales como: calidad de agua, calidad de suelo, aguas subterráneas; además de factores económicos y estéticos. [3]

En la ciudad de Ica, las aguas del río principal de la ciudad están contaminadas por aguas servidas. Como se ha descrito anteriormente la contaminación afecta la calidad del agua, en este caso los perjudicados son los medianos y pequeños agricultores de la localidad,

dado que sus parcelas están ubicadas cerca de lagunas de oxidación (donde monitoreos han indicado que las lagunas están contaminadas hasta 5 veces más de los límites máximos permisibles), y riegan con las aguas superficiales del río, debido a lo expuesto es imposible no pensar en un daño a la salud de la población de Ica que consumen los productos regados con aguas contaminadas. Además, el vertimiento de las aguas residuales sobre el río causa infiltración de los contaminantes en aguas subterráneas, y estas son usadas para el consumo directo de la población. [4]

Los vecinos de Malecón La Achirana de Parcona, se ven afectados por la contaminación del cauce debido a la evacuación de aguas residuales de origen doméstico en mencionado cauce, esta problemática que deriva de hace muchos años genera la formación de charcos que producen malos olores, la aparición de roedores, insectos que son transmisores de enfermedades diarreicas y de la piel, así como el dengue. Se ha evidenciado que las conexiones de las aguas residuales son provenientes del distrito de la Tinguíña, esto se debe a la ausencia de transformadores en la cámara de bombeo para poder enviar el desagüe a la laguna de oxidación que se encuentran en la zona alta del distrito. Debemos recordar que el distrito de Parcona existe pequeños agricultores que riegan sus parcelas con estas aguas contaminadas. [5]

1.2. Antecedentes de la investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

En el Río Vines, Ecuador; se realizó una investigación de carácter científico con la finalidad de determinar la influencia de las actividades humanas sobre la calidad del río ya mencionado, dado que este río recibe aguas servidas de origen doméstico, industrial y agropecuario. Se realizaron análisis al cuerpo de agua para evaluar cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos del río, sin embargo, los resultados de laboratorio demostraron que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles, lo cual expone una gran capacidad de auto depuración por parte del Río Vines. [6]

La calidad de agua del río Actopan en Veracruz, México, se ve perjudicada por las descargas de aguas residuales, la ganadería, la falta de tratamiento de agua y desechos como deposiciones de ganado al aire libre, es por ello que, debido a la amenaza de la contaminación fecal en la alteración de la calidad de los cuerpos de agua, se ubicaron 10 puntos de muestreo donde se obtuvieron muestras representativas para analizar parámetros microbiológicos, como E. Coli y coliformes fecales. Como resultado se obtuvo que las concentraciones de coliformes van incrementando camino al desemboque, también se identificó que E. coli se encuentra cerca de las estaciones de lluvia. [7]

Se determinó el impacto ambiental de la calidad del agua en el río Las Ceivas, Neiva, Colombia, se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo del índice de Calidad de Agua (ICA) y el índice de contaminación (ICOMO), para evaluar la variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en dos estaciones del año distintas. Los resultados muestran que los vertimientos domésticos e industriales que son depositados en el río provocan un deterioro en su índice de calidad y presencia de contaminación por alta carga orgánica. [8]

1.2.2. Antecedentes nacionales

En [9] se realizó un estudio de carácter analítico- descriptivo y longitudinal, para la evaluación de la relación entre el vertimiento de aguas servidas domesticas de la ciudad sobre el Río Chonta, para este trabajo se realizó la comparación de valores con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en la Categoría 3, obteniéndose como resultado que el único parámetro alterado en los análisis de laboratorio fue DQO, por lo cual se determinó que no hay un efecto negativo significativo sobre la calidad del agua del mencionado río.

En el Río Huallaga – Huánuco; mediante una investigación explicativo- observacional se estudió la influencia del vertimiento de aguas residuales sobre el río descrito, debido a la presencia de 2 conexiones de aguas que dan directamente al río, los análisis de laboratorio mostraron que 12 de los parámetros (microbiológicos, físico químico) estudiados arrojaron niveles altos, superando los límites máximos permisibles, por lo cual la calidad del río no cumplen con los ECA's establecidos por N° 004-2017-MINAM, diagnosticando esta fuente de agua como no apta para riego de vegetales. [10]

El Río Santa es el principal cuerpo receptor del Callejón de Huaylas, en él desembocan residuos sólidos, aguas servidas (domésticas, industriales) y pasivos mineros, por lo cual el objetivo de la investigación fue determinar la alteración de la calidad del agua mediante el modelo de Índice de Calidad de Agua (ICA), obteniéndose como resultado que los valores del ICA se vuelven críticos durante los periodos de estiaje, pero se encuentran por debajo del ECA normativo para la conservación ambiental acuático. [11]

En Huacaybamba-Huánuco; [12] se llevó a cabo una investigación donde se identificó al Río Marañón como principal receptor de aguas residuales de las poblaciones cercanas, generando el deterioro de este al convertirse en un foco de contaminación y la degradación de su paisaje. Los monitoreos realizados, determinaron como principales agentes patógenos a parásitos, bacterias y hongos, provenientes de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

El Río Patarata – La Libertad; es receptor de aguas negras, por lo cual, se realizó un estudio cualitativo para analizar los parámetros físico químicos y microbiológicos en 3 puntos de muestreo, para posteriormente ser comparados con los Estándar de Calidad Ambiental, obteniendo como resultado una afectación negativa debido a que parámetros, tales como: DQO, DBO, aceites y grasas, coliformes termo tolerantes mostraron concentraciones elevadas, generado daño en los componentes ambientales producto del vertimiento directo de aguas negras. [13]

Debido a los trabajos de monitoreo realizados en el Río Ayarivi, se logró identificar los principales impactos ambientales por aguas servidas en este río, se analizó la calidad de agua y suelo, obteniendo como resultados un impacto negativo: el suelo se determinó con un riesgo ambiental moderado, las aguas superficiales con un riesgo ambiental moderado, analizando parámetros como pH, sólidos totales, conductividad, DBO, DQO, aceites y grasas, además de determinar afectación en la calidad de aire, flora acuática, fauna. [14]

Una investigación de carácter descriptivo simple, realizada en el sector Juan Antonio en Moyobamba donde las aguas residuales se vierten de manera directa sobre los ríos, se analizó el impacto ambiental y social de esta problemática, arrojando como resultados un impacto social negativo, debido a que los análisis al cuerpo de agua, comprobó que se superan los Estándares de Calidad Ambiental en el agua. [15]

La indagación de la microcuenca del Río Timarini, permitió identificar impactos ambientales generados por las actividades antropogénicas en el área, a partir de un análisis geomorfológico, económico – productivo, observando la relación de causa- efecto, obteniendo como resultado que la agricultura recibe un mayor impacto negativo debido al uso de químicos y distintos plaguicidas, también las actividades cotidianas por la disposición de residuos sólidos y aguas residuales que contaminan con coliformes fecales que infectan el agua, por último la contaminación del suelo debido a lixiviados, escorrentías y residuos orgánicos. [16]

1.2.3. Antecedentes locales

En el Río Pisco, se realizó una investigación para determinar el grado de contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas, para lo cual se realizó un muestreo de forma sistemática, donde se obtuvieron muestras de agua en diferentes periodos del año. Se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, pH, Coliformes totales, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto, los resultados de laboratorio determinaron que los valores de los parámetros se encuentran por debajo del ECA Agua,

para las categorías 1, 3 y 4. Como conclusión se evidencia las condiciones ambientales saludables del río Pisco y señala la importancia del monitoreo continuo para garantizar la conservación del cuerpo de agua. [17]

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. 1.7.1 Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de abordar la problemática ambiental que representa el vertimiento directo de aguas residuales al cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa del distrito de Parcona. Esta situación no solo refleja una deficiente gestión del saneamiento básico por parte de las autoridades locales, sino que además constituye una amenaza directa para la salud pública, la calidad ambiental y la sostenibilidad del recurso hídrico de la zona.

A lo largo del cauce se han identificado diversas conexiones informales de aguas servidas provenientes de viviendas y letrinas ubicadas en sus márgenes, que descargan directamente sin ningún tipo de tratamiento. Además, en las cercanías del cauce existen terrenos de uso agrícola que emplean estas aguas contaminadas para el riego de cultivos destinados al consumo humano en los mercados locales, lo cual incrementa el riesgo sanitario para la población local y plantea serias preocupaciones respecto a la inocuidad alimentaria.

En este contexto, se desarrolló un programa de monitoreo de calidad de agua y suelo, que generó información técnica, basada en evidencia científica. Los datos recolectados proporcionan un diagnóstico del nivel de contaminación de agua y suelo, y permiten establecer relaciones entre la presencia de vertimientos y el impacto en los componentes ambientales involucrados en el estudio. Esta información es fundamental no solo para validar la hipótesis planteada, sino también para sustentar la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales y regionales.

Asimismo, esta investigación busca contribuir al conocimiento técnico local, al convertirse en un instrumento para futuras investigaciones ambientales en la región. De esta manera, se busca no solo visibilizar el problema, sino también aportar soluciones prácticas y contextualizadas que favorezcan la restauración del ecosistema y la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Parcona.

1.3.2. Importancia

La importancia de este estudio radica en su contribución al diagnóstico de la contaminación que generan las aguas residuales sobre los componentes de agua y el suelo, en una zona crítica como es el cauce de “La Achirana”.

En un contexto regional donde la expansión urbana y la falta de infraestructura de saneamiento han incrementado los niveles de contaminación, y disponer de un análisis técnico basado en monitoreo ambiental se convierte en un aporte clave para el desarrollo sostenible.

En primer lugar, esta investigación proporciona información valiosa para la gestión ambiental local. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados por la Municipalidad Distrital de Parcona, EMAPICA y otras entidades competentes para planificar y ejecutar acciones correctivas o preventivas, como la clausura de conexiones clandestinas, la instalación de sistemas de tratamiento, o la implementación de programas de educación ambiental.

En segundo lugar, representa una herramienta de sensibilización para la comunidad, al evidenciar mediante datos objetivos cómo las malas prácticas de disposición de aguas residuales afectan no solo al ecosistema, sino también a la salud humana, especialmente en zonas agrícolas donde se riegan cultivos con agua contaminada.

Desde el punto de vista académico, esta investigación fortalece el conocimiento relacionado con la gestión de recursos hídricos y la calidad ambiental en zonas urbanas periféricas. Además, establece un precedente metodológico que puede ser replicado en otros canales que presenten situaciones similares, convirtiéndose así en una base técnica para estudios comparativos o de seguimiento ambiental a mediano y largo plazo.

1.4. Bases teóricas

1.4.1. Aguas residuales

Son aguas que perdieron su valor, debido a que el uso que le fue dado para diversas actividades afectó negativamente su calidad, según su origen de uso podemos clasificarlas en: domésticas (proveniente de actividades domésticas), industriales (proveniente de actividades industriales y comerciales), urbanas (mezcla de las dos anteriores con escorrentía de lluvia). [18]

1.4.2. Aguas residuales domesticas

También conocidas como aguas negras o servidas, son producto de las actividades dentro del hogar, en su composición se pueden encontrar restos sólidos, materia orgánica, grasas,

detergentes, entre otros compuestos de productos que se utilizan dentro del hogar, por lo cual deben ser tratadas antes de su vertimiento final. [19]

1.4.3. Contaminación de agua

La calidad del agua se ve alterada por actividades del hombre, las principales causas que originan esta alteración son: contaminantes orgánicos e inorgánicos que provienen de aguas domésticas, industriales, agrícolas, filtraciones de botaderos, acidificación, otros. Esta alteración puede ocasionar problemas, como: pérdida de ecosistemas, riesgo de intoxicación a las personas, pérdida de suelos por erosión y salinización. [20]

1.4.4. Contaminación de agua por aguas residuales

El vertimiento de aguas residuales (domésticas, industriales, agrícolas) sin el tratamiento adecuado genera la alteración de la calidad de agua de los cuerpos receptores, convirtiéndose en un riesgo para la salud de las poblaciones y los ecosistemas. Los principales contaminantes que podemos encontrar son: nitrógeno, fósforo, compuestos orgánicos e inorgánicos, coliformes fecales, otros. [21]

1.4.5. Contaminación de suelo

Se define como la degradación de una superficie debido a la presencia de sustancias químicas, que provienen de manera directa e indirecta de actividades antropogénicas. Esto representa una problemática para la producción agrícola, la seguridad alimentaria y la salud humana. [22]

1.4.6. Contaminación de suelo por aguas residuales

La presencia de aguas residuales genera incremento de nutrientes, sólidos totales, sales y metales pesados en el suelo. Dependiendo de la fuente, el tiempo de uso y la composición de estas aguas, puede traer consecuencias negativas como: salinidad, degradación de su estructura, sobresaturación, pérdida de su capacidad agrícola [23]

1.4.7. Calidad de agua

Es una variable que describe al medio hídrico, desde un punto de vista ambiental, de planificación y gestión de recursos hídricos, dado que delimita la aptitud de los cuerpos de agua para mantener ecosistemas equilibrados y atender diferentes demandas [24]

1.4.8. ECA agua

Es la unidad de medida que determina el uso que puede determinarse a un cuerpo de agua dependiendo de la calidad que presenta, ya sea por sus valores naturales o por la carga contaminante a la que pueda estar expuesta [25]

1.4.9. Subíndice de Uso Sostenible de Suelo (SUSS)

Es un indicador que agrupa propiedades físico – químicas que están vinculadas a un uso sostenible del suelo y/o a la calidad de este, a través del cálculo de promedio de los valores obtenidos en el análisis de los parámetros en campo y en laboratorio [26]



CAPÍTULO II

2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La presente investigación busca caracterizar el nivel de contaminación de agua y suelo por aguas residuales en el cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023, a través de un programa de monitoreo ambiental de agua y suelo, utilizando instrumentos normativos ambientales vigentes, para garantizar la confiabilidad y validez del estudio, obteniendo muestras representativas de la calidad ambiental de los componentes estudiados, esto con y así poder evaluar la influencia del vertimiento de aguas residuales sobre la calidad ambiental en el sector Santa Rosa del distrito de Parcona.

A continuación, se detalla la delimitación geográfica y ubicación del área de estudio, el tipo de investigación, la población y muestra, los criterios de selección, así como los procedimientos utilizados para la recolección, análisis e interpretación de datos.

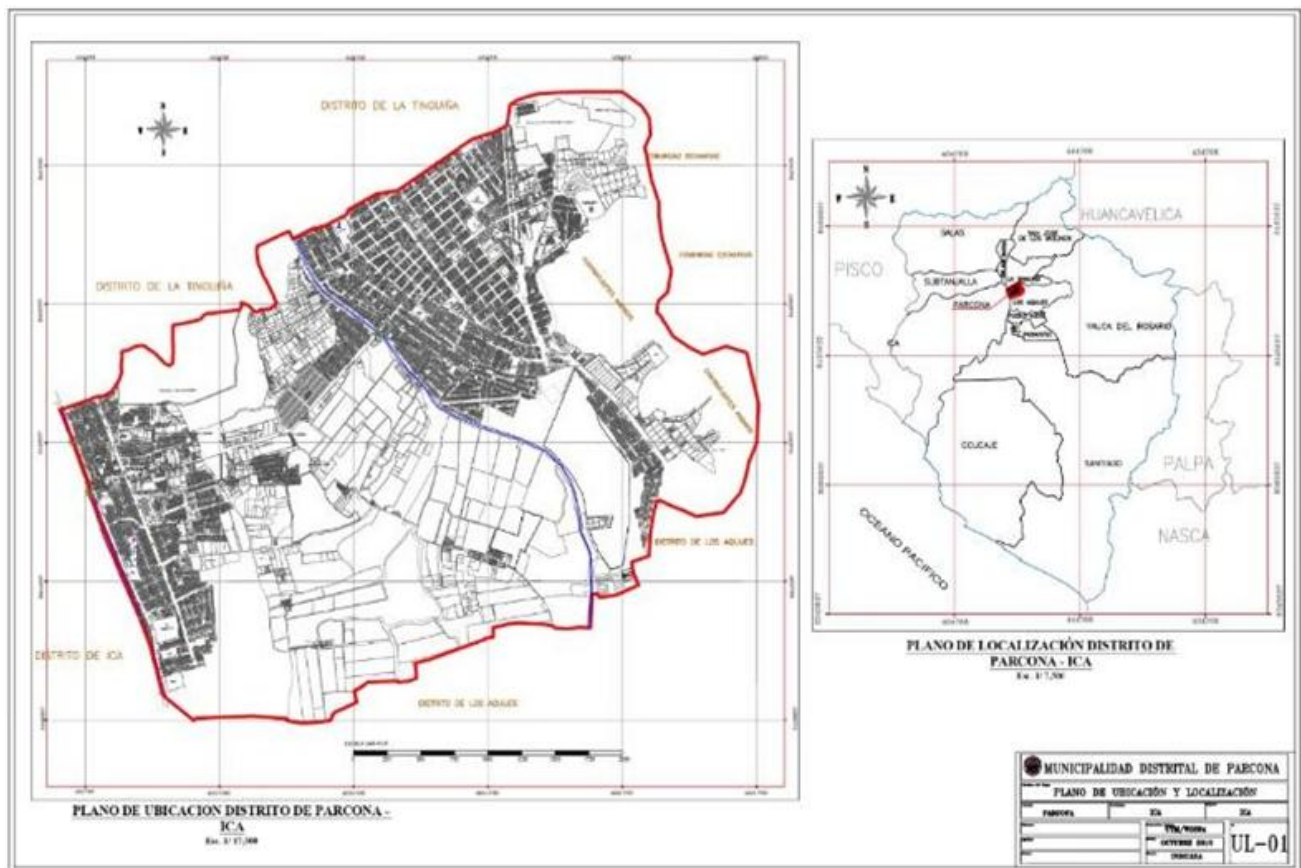
2.1. Delimitación geográfica y ubicación del área de estudio.

2.1.1. Delimitación geográfica

El estudio se realizó en el distrito de Parcona, el cual limita por el norte con el Distrito de La Tinguiña, por el oeste con el centro de Ica, por el sur y este con el Distrito de Los Aquijes.

Tiene una densidad poblacional de 3 041, 5 hab/ Km², una superficie o extensión territorial de 18 000 hectáreas y una altitud de 436 m. [27]. Tiene una población de 54 747 habitantes. El distrito de Parcona dentro del sistema de coordenada UTM (Universal Transverse Mercator) en la Zona 18 L, Norte (N): 8460000 m Este (N): 667000 m

Imagen 1: Ubicación y localización Parcona



Fuente: Google Imágenes

2.1.2. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el Distrito de Parcona en el Cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa.

Este sector fue seleccionado por ser un lugar crítico de vertimiento de aguas residuales, porque se han identificado distintas conexiones informales de aguas residuales provenientes de viviendas y letrinas ubicadas en la ribera del cauce, que descargan directamente sin ningún tipo de tratamiento.

Siendo la conexión de vertimiento más importante, la cámara de bombeo de la empresa de saneamiento EMAPICA, por ser la tubería de mayor diámetro, mayor caudal y la que realiza vertimiento con impactos más significativo durante todo el año.

La investigación se realizó la desde el mes de mayo del año 2022 hasta el mes de marzo del año 2023, donde se realizaron.

Imagen 2: Delimitación Cauce de La Achirana sector Santa Rosa– Parcona



Fuente: Google Earth Pro

2.2. Tipo, nivel y diseño de la investigación.

2.2.1. Tipo de investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, no experimental, básico; dado que para probar la hipótesis se necesitó datos numéricos y estadísticos, esto se realizó sin manipular las variables estudiadas y tuvo la finalidad de crear conocimiento. [28]

2.2.2. Nivel de investigación

La investigación tuvo un nivel descriptivo, porque el objetivo fue diagnosticar la repercusión de las variables sobre la población en estudio, por medio de cifras o valores obtenidos en la recolección de datos. [28]

2.2.3. Diseño de investigación

El estudio se diseñó de manera transversal, debido a que las variables fueron medidas en un periodo determinado de tiempo y una sola vez [29].

2.3. Criterios de inclusión y exclusión

2.3.1. Criterios de inclusión

Esta investigación tomó como criterios de inclusión los puntos de vertimiento de aguas residuales

2.4. Criterios de exclusión

Esta investigación tomó como criterio de exclusión los puntos de no vertimiento de aguas residuales.

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

Para determinar la población, se tuvo en consideración los criterios de inclusión y exclusión descritos en el numeral 2.3, y a través de una inmersión en el campo, donde se realizaron diversos recorridos al área de estudio, se identificaron los puntos críticos de contaminación de agua y suelo por aguas residuales, que se encuentran dentro del sector Santa Rosa.

Estos puntos ubicados dentro de área de estudio son las conexiones informales de desagües provenientes de las viviendas ubicadas en la ribera del cauce de “La Achirana”, y la tubería de descarga de la cámara de bombeo de EMAPICA, los cuales son significativos para la problemática ambiental, por la cantidad de conexiones, frecuencia de descarga y volumen de vertimiento, además estos puntos constituyeron la base para la selección de los sitios de muestreo.

La Tabla 2 presenta la relación de puntos críticos identificados a lo largo del sector Santa Rosa del cauce de “La Achirana”, cada punto fue georreferenciado mediante coordenadas UTM:

Tabla 1: Puntos críticos de vertimiento de aguas residuales

PUNTOS	ESTE	NORTE
PV 1	423423.94 m E	8446911.83 m S
PV 2	424062.84 m E	8446296.20 m S
PV 3	424145.91 m E	8446197.21 m S
PV 4	424284.04 m E	8446041.55 m S
PV 5	424656.46 m E	8445768.91 m S

Para mayor entendimiento, se realizó la visualización satelital de las conexiones de vertimiento de aguas residuales, detectados en el trabajo de campo y descritos en la Tabla 2, a través de la herramienta satelital de Google Earth Pro.

Imagen 3: Ubicación de los puntos que definen la población de estudio



Fuente: Google Earth Pro

2.5.2. Muestra

La muestra fue intensional no probabilística; ya que los puntos elegidos para realizar los muestreos de agua y suelo fueron determinados de acuerdo con los criterios técnicos que exige la normativa vigente: El Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales y el Subíndice de Uso Sustentable de Suelo (SUSS), con la finalidad de obtener una muestra representativa de la calidad de estos componentes ambientales.

Muestra de suelo

Para determinar el nivel de contaminación de suelo por aguas residuales, se analizó la calidad del suelo, mediante un monitoreo de suelo, en el área de estudio se recolectaron dos muestras compuestas, conformada por dos submuestras individuales, recolectadas dentro del área de influencia.

Las cuales fueron recolectadas durante el periodo seco del cauce de “La Achirana”.

Las Tablas 3 y 4, muestran la georreferenciación en coordenadas UTM de cada muestra de suelo y las submuestras individuales que la conforman.

Tabla 2: Ubicación de muestras de suelo 1

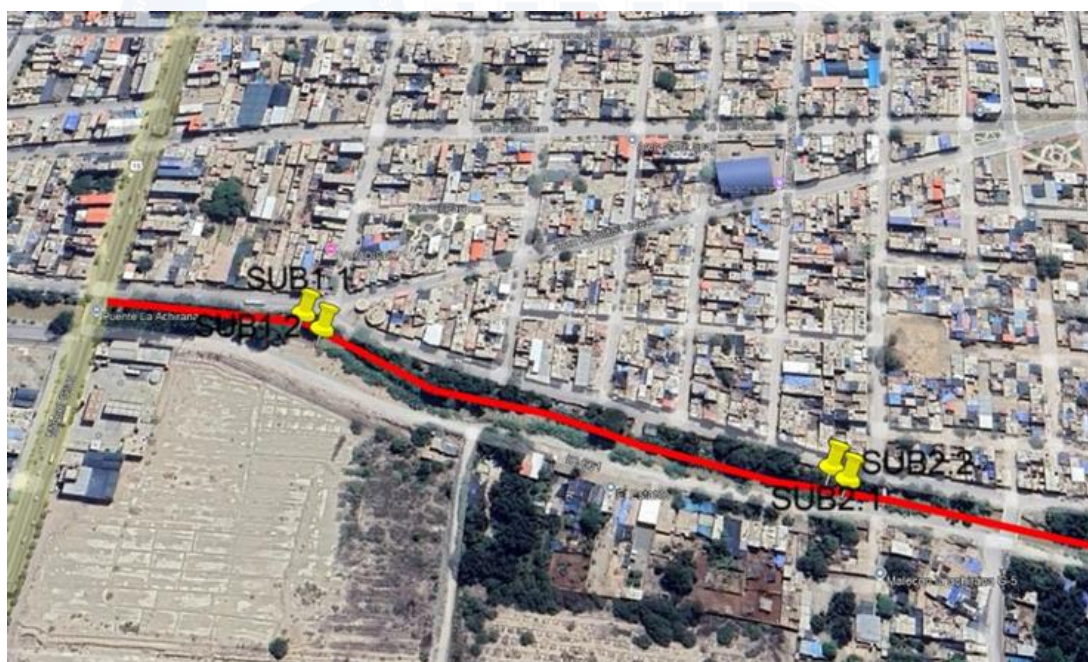
PRS - 1		
SUBMUESTRA	ESTE	NORTE
1	423386.00 m E	8446980.00 m S
2	423375.00 m E	8446987.00 m S

Tabla 3: Ubicación de muestras suelo 2

PAR - 1		
SUBMUESTRA	ESTE	NORTE
1	424052.20 m E	8446334.09 m S
2	424037.38 m E	8446343.58 m S

La visualización satelital de las muestras compuestas de suelo, se realizaron a través de la herramienta satelital del software Google Earth Pro.

Imagen 4: Ubicación de las muestras de suelo



Fuente: Google Earth Pro

Muestra de agua

Para determinar el nivel de contaminación de agua, se evaluó la calidad del agua en el cauce de “La Achirana”, en el sector Santa Rosa, a través de un monitoreo, donde se recolectaron tres muestras puntuales de agua superficial, distribuidas estratégicamente a lo largo del tramo de estudio.

La ubicación de las muestras fue diseñada para permitir una comparación entre condiciones previas, durante y posteriores a la zona de influencia contaminante.

Los puntos de toma de muestra fueron georreferenciados en coordenadas UTM, como se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4: Ubicación de muestras de agua

PUNTOS	ESTE	NORTE
P - 01	423657.00 m E	8446639.00 m S
P- 02	424052.00 m E	8446328.00 m S
P - 03	424288.00 m E	8446041.00 m S

En la siguiente imagen, se puede ver la ubicación satelital de los 3 puntos de muestra de aguas superficiales.

Imagen 5: Ubicación de las muestras de agua



Fuente: Google Earth Pro

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.5.3. Técnicas para la recolección de datos

Para determinar el nivel de contaminación de agua y suelo por aguas residuales; se usaron como técnicas: la observación, la inmersión en el campo, monitoreo ambiental y el análisis de laboratorio.

2.5.4. Instrumentos para recolección de datos

Los instrumentos usados para la recolección de datos para determinar el nivel de contaminación de agua por aguas residuales fueron los siguientes:

Instrumentos para la recolección de datos para el monitoreo de agua

- a) Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos superficiales, es una norma técnica emitida por la Autoridad Nacional del Agua, mediante la Resolución Jefatural N.º 010-2016- ANA, que tiene como objetivo establecer los lineamientos estandarizados para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua en el territorio peruano, permiten caracterizar y determinar el programa analítico para el cuerpo de agua en función de su uso y su grado de alteración por fuentes contaminantes. El uso de este protocolo garantiza la comparabilidad, precisión y confiabilidad de los resultados, y permite evaluar el cumplimiento del, Estándar de la Calidad Ambiental. Para el caso de estudio el programa analítico estuvo compuesto por los siguientes parámetros

Fisicoquímicos: pH (tomado en campo), temperatura, DBO, DQO, aceites y grasas.

Microbiológicos: Coliformes termo tolerantes

- b) Estándar de la Calidad Ambiental para el Agua (D.S N° 004-2017- MINAM), Son valores límite establecidos por el Estado peruano que definen las concentraciones máximas permisibles de determinados elementos, sustancias o características físicas, químicas y biológicas en los cuerpos de agua, a fin de proteger la salud humana, el ambiente y los distintos usos del recurso hídrico, establece valores diferenciados según la categoría de uso del agua. Para el caso de estudio, la categoría del cuerpo de agua es Categoría 3, D1: Riego de vegetales.

Instrumentos para la recolección de datos para el monitoreo de suelo

- a. Subíndice de Usos Sostenible de Suelos (SUSS), es un instrumento técnico que permite evaluar el estado de conservación y calidad de un suelo en función de sus propiedades físicas y químicas, en relación con su uso actual o potencial. Su aplicación permite determinar si las condiciones actuales del suelo favorecen o limitan su capacidad productiva y ecológica, y es ampliamente utilizado en estudios de impacto ambiental, manejo de cuencas, planificación territorial y recuperación de suelos degradados, de acuerdo con la Metodología de cálculo de SUSS se determinó el análisis de 6 parámetros: textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total y densidad aparente.

- b. Guía de Muestreo para suelos (D.S 002-2013-MINAM), esta guía técnica estandariza los procedimientos para la toma de muestras de suelo, garantizando la representatividad, confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos a través de análisis de laboratorio. La aplicación de los lineamientos de la Guía permitió estructurar un protocolo de muestreo de suelo, asegurando que los datos obtenidos sean válidos para el diagnóstico del nivel de contaminación por vertimiento de aguas residuales en el sector Santa Rosa. El documento establece los lineamientos metodológicos para realizar el muestreo en función del objetivo del monitoreo: identificación, la profundidad de muestreo, el número de submuestras y la forma de conservación y transporte de estas.

2.6. Procedimiento para la recolección de datos

2.6.1. Procedimiento para determinar el nivel de contaminación de agua

a. Planificación

- ✓ Indagación bibliográfica: Se consultaron las normativas ambientales vigentes, tales como: el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA) y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (D.S. N.º 004- 2017-MINAM), categoría 3, uso en riego de vegetales.
- ✓ Determinación del programa analítico.
- ✓ Identificación de puntos de vertimiento de aguas residuales: codificación y georreferenciación.
- ✓ Ubicación de los puntos de muestreo, codificados y georreferenciados.

b. Trabajo de campo

- ✓ Preparación de materiales, instrumentos, equipos de protección personal.
- ✓ Toma de muestras, preservación, rotulado y etiquetado.
- ✓ Conservación de muestras, llenados de fichas de campo y cadena de custodio, traslado de muestras.

2.6.2. Procedimiento para determinar el nivel de contaminación de suelo

a. Planificación

- ✓ Indagación bibliográfica: Se consultaron las normativas ambientales vigentes, como a Guía de Muestreo para Suelos (D.S. N.º 002-2013- MINAM) y el Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS).
- ✓ Determinación del programa analítico.
- ✓ Determinación del tipo de muestreo.
- ✓ Determinación del número de muestras y submuestras.

- ✓ Identificación de los puntos de muestreo, codificados y georreferenciados.

b. Trabajo de campo

- ✓ Preparación de materiales: herramientas para excavación, equipos de protección personal.
- ✓ Excavación de calicatas.
- ✓ Toma de muestras, homogenización, envasado y etiquetado.
- ✓ Conservación de muestra, llenado de fichas de muestreo y envío de muestras.

2.7. Técnicas de análisis e interpretación de datos.

Para el análisis de los datos obtenidos en esta investigación, se emplearon técnicas cuantitativas descriptivas que permitieron organizar, interpretar y comparar los resultados del monitoreo ambiental con los estándares normativos vigentes. La interpretación se realizó de forma diferenciada para los componentes agua y suelo, como se describe a continuación:

2.7.1. Técnica para interpretar el nivel de contaminación de agua

Los resultados de las muestras de agua fueron analizados en una tabla comparativa que incluye los valores obtenidos en laboratorio y los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3 (D1: riego de vegetales), según el D.S. N.º 004-2017-MINAM.

Esta comparación permitió identificar los parámetros que superan los ECA y, por tanto, representan un riesgo ambiental o sanitario. El análisis fue complementado con la evaluación de los tres puntos de muestreo, lo cual permitió inferir el grado de afectación progresiva del cauce por los vertimientos.

2.7.2. Técnicas para interpretar el nivel de contaminación de suelo

Para el suelo, los resultados de laboratorio fueron procesados mediante el Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS), el cual integra seis parámetros clave: textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total y densidad aparente.

El cálculo del subíndice se realizó de acuerdo con la metodología establecida por el SUSS. Posteriormente, el valor obtenido fue clasificado de acuerdo con la tabla de rangos interpretativos de la metodología, para determinar la calidad del suelo.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Contaminación de agua por vertimiento de aguas residuales.

OE 1: Determinar el nivel de contaminación de agua del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.

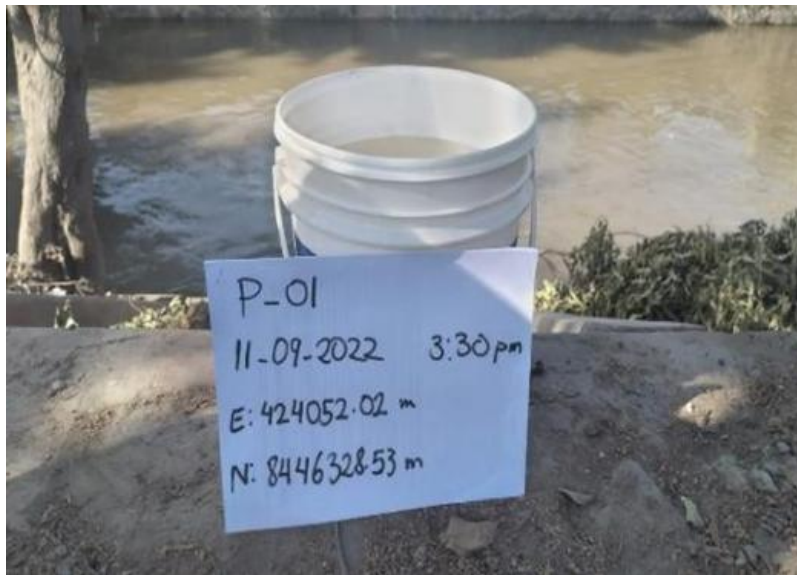
3.1.1. Toma de muestras

Las muestras de agua fueron recolectadas el primer día de llegada de agua en el cauce de La Achirana, el día 11 de septiembre de 2022.

Para determinar estas ubicaciones de las muestras se consideraron los criterios técnicos descritos en Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos superficiales:

La primera muestra fue tomada antes del ingreso al sector Santa Rosa, determinada como el área de estudio, que permitió establecer las condiciones iniciales del cuerpo de agua sin influencia directa de vertimientos.

Imagen 6: Toma de muestras en el punto 1



La segunda muestra se recolectó aproximadamente 50 metros aguas arriba de la primera conexión de aguas residuales que fue la tubería de la cámara de bombeo de EMAPICA, con el fin de registrar los niveles de calidad justo antes del punto de impacto.

Imagen 07: Toma de muestras en el punto 2



Finalmente, la tercera muestra fue tomada 200 metros aguas abajo de la última conexión de vertimiento perteneciente a una vivienda ubicada en la ribera del cauce, lo que permitió evaluar el efecto acumulado de la descarga de contaminantes en el tramo estudiado.

Imagen 08: Toma de muestras en el punto 3



Posterior a la toma de muestras, estas fueron preservadas y conservadas, para ser enviadas al laboratorio para su posterior análisis.

Imagen 09: preservación de muestras



Imagen 10: conservación de muestras



3.1.2. Parámetros obtenidos in situ

De acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos superficiales, el parámetro de pH debe ser determinado en campo.

Para determinar el valor del pH de las muestras, se usó un medidor de pH digital, mediante el cual se colocó una parte de la muestra de agua recolectada en la cámara de medición y se le agregó el reactivo en tableta dentro de ella, y se disuelve la pastilla con la varilla agitadora, una vez disuelta totalmente la tableta, se cierra la cámara de medición con la tapa rosca, los resultados se observaron en la pantalla digital después de 15 segundos.

A continuación, se presenta la evidencia fotográfica del cálculo, pH en campo.

Imagen 11: toma de pH



En la siguiente tabla se puede apreciar un resumen de los resultados obtenidos para los 3 puntos de muestreo de agua:

Tabla 5: Resultado de ph

ECA: Categoría 3, D1			
Puntos	P1	Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
P1	7.2		6.5 -8.5
P2	7.3		6.5 -8.5
P3	7.2		6.5 -8.5

3.1.3. Resultados de laboratorio

Para determinar la calidad de agua, las muestras de agua se enviaron a ENVIROTEST (laboratorio certificado), donde se realizó el análisis según las técnicas de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW).

Tabla 6: Resultados monitoreo de agua

Monitoreo de calidad de agua					
Fecha: 11/09/2022 Hora: 3:00pm -5:00pm					
ECA: Categoría 3, D1					
Parámetros	P1	P2	P3	Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
Aceites y grasas	<0,5	<0,5	<0,5	5	
DBO	<2,0	<2,0	<2,0	15	
DQO	<5,0	<5,0	<5,0	40	
C. Termo tolerantes	2,4E+04	2,4E+04	1,3E+06	1000	2000
Temperatura	24.2	24.5	24.3	Δ3	

3.1.4. Interpretación de resultados

Cada parámetro fue comparado con el ECA categoría 3, D1: Riego para vegetales (agua para riego no restringido, agua para riego restringido).

Obteniendo los siguientes resultados para cada parámetro:

- a. Aceites y grasas, el valor del parámetro es menor al límite de cuantificación del método.
- b. DBO, el valor del parámetro es menor al límite de cuantificación del método. DQO, el valor del parámetro es menor al límite de cuantificación del método.
- c. pH, el valor del parámetro se encuentra dentro de los establecido por el ECA.
- d. Temperatura, la variación del parámetro es $\Delta 0.2$, valor menor al establecido por en el ECA, que es igual $\Delta 3$.
- e. Coliformes termo tolerantes, se aprecia que los valores en:
 - ✓ P1, el valor del parámetro supera en 23 veces el ECA para riego no restringido y en un 11 veces el ECA para riego restringido;
 - ✓ P2, el valor del parámetro supera en 23 veces el ECA para riego no restringido y en un 11 veces el ECA para riego restringido, y
 - ✓ P3, el valor del parámetro supera en 1299 veces el ECA para riego no restringido y en un 649 veces el ECA para riego restringido.

Por lo tanto, en el parámetro microbiológico de coliformes termo tolerantes supera ampliamente el ECA tanto para riego restringido y no restringido en todos los puntos monitoreados.

3.2. Contaminación de suelo por vertimiento de aguas residuales.

OE 2: Determinar el nivel de contaminación de suelo del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.

3.2.1. Toma de muestras

Para la toma de las submuestras se siguieron los siguientes pasos, de acuerdo a los criterios establecidos por el instrumento normativo consultado que fue, la guía de muestreo de suelos emitidos por el MINAM:

Al ser un muestreo de identificación, las submuestras fueron tomadas a través de la excavación de calicatas a una profundidad 30cm, utilizando herramientas manuales.

Imagen 12: Excavación de calicatas a 30 cm



Posteriormente se realizó la homogenización de cada muestra en campo mediante mezcla manual

Imagen 13: homogenización de muestra



Y siguiendo el criterio técnico de la Guía de Muestreo de Suelos emitida por el MINAM, se obtuvieron las muestras finales en cada sitio muestreado, las cuales fueron envasadas, etiquetadas y posteriormente fueron enviadas al laboratorio para ser analizadas.

3.3. Resultados de laboratorio

Para determinar la calidad de suelo; las muestras de suelos se enviaron al laboratorio del CITE agroindustrial Ica (acreditado por INACAL – DA). Los resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 7: Resultado monitoreo de suelo

Monitoreo de la calidad de suelo		
Fecha: 08/09/2022		Hora: 3:00pm – 5:00pm
Parámetros	PAR-1	PRS-1
Textura	Arena	Arena Franco
pH	7.64	6.66
Conductividad eléctrica	1.04 dS/m	0.66 dS/m
Materia Orgánica	0.38%	1.48%
Nitrógeno Total	0.02%	0.07%
Densidad aparente	2gr/ml	1.89 gr/ml

3.3.1. Cálculo de SUSS

Para determinar la calidad de suelo, se calculó el Subíndice de Uso Sustentable de Suelo (SUSS), este método relaciona las propiedades fisicoquímicas del suelo con la calidad de este, analizando los valores obtenidos en laboratorio para cada parámetro y/o indicadores de calidad, con una serie de fórmulas y promedios. [30].

1. Calculando factor R

Para el cálculo de factor R, utilizamos la siguiente formula numérica:

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{vr_j - d_j}{C_j - d_j} \right)$$

Donde:

Rn = Es el resultado normalizado;

Vr = Es el valor del parámetro fisicoquímico; d = Es el valor deseable en el indicador;

c = Es el valor de corte en el indicador;

j = Es cada muestra de suelo.

En la siguiente tabla observamos los valores de corte y valores deseables del indicador para cada parámetro.

Tabla 8: Rangos de valores deseables y valores de corte

Rangos de valores deseables y valores de corte			
Indicador	Unidad	Rango deseable	Valor de corte
Materia orgánica	%	>51	0.5
Densidad aparente	g/cm3	<1.1	1.47
Cond. Eléctrica	dS/m	<1	4.1
pH	pH	6>pH>7	5<pH>8.5
Nitrógeno total	%	>0.2	0.05

A continuación, se muestra la tabla con los resultados del factor R, para el primer punto de muestro PAR-1:

Tabla 9: Resultado R, PAR-1

	PAR - 1	d	c	R1
pH	7.64	6	5	2.64
Materia orgánica	0.38	5	0.5	-0.03
Cond. Eléctrica	1.04	1	4.1	0.99

Nitrógeno total	0.02	0.2	0.05	-0.2
Densidad aparente	2	1.1	1.47	-1.43

Luego, calculamos el factor R, para la muestra PRS-1, siguiendo la formula descrita y los valores deseados y de corte mostrados en la Tabla 9:

Tabla 10: R, PRS -1

	PRS - 1	d	c	R2
pH	6.66	6	5	1.66
Materia orgánica	1.48	5	0.5	0.22
Cond. Eléctrica	0.66	1	4.1	1.11
Nitrógeno total	0.07	0.2	0.05	0.13
Densidad aparente	1.89	1.1	1.47	-1.14

2. Calculando factor P

Para el cálculo de factor P, utilizamos la siguiente formula numérica:

$$p = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m}$$

Donde:

Rn = Es el valor resultante del parámetro normalizado;

m = Es el número de muestras de suelo analizadas;

j = Es cada muestra de suelo.

Se determina que el factor P, es el promedio del factor R calculado para cada parámetro analizado de cada punto muestreado.

En la siguiente tabla, se observa el resultado del factor P, para los parámetros analizados en laboratorio:

Tabla 11: Factor P

	R1	R2	P
pH	2.64	1.66	2.15
Materia orgánica	-0.03	0.22	0.1
Cond. Eléctrica	0.99	1.11	1.05
Nitrógeno total	-0.2	0.13	-0.03

Densidad aparente	-1.43	-1.14	-1.28
--------------------------	-------	-------	-------

Densidad aparente -1.43 -1.14 -1.28

3. Calculando SUSS

El subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS), es la ecuación para la cuantificación de la sustentabilidad del suelo a partir de rangos máximos y mínimos de cada parámetro o indicador analizado, mediante la siguiente fórmula:

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Donde:

P = Es el promedio del valor de los parámetros normalizados;

i = Es cada indicador o parámetro analizado;

n = Es el número total de parámetros analizados.

En la siguiente tabla, se observa el resultado del Subíndice de Uso Sustentable de suelo (SUSS):

Tabla 12: SUSS

SUSS	0.4
-------------	------------

3.3.2. Ubicación del SUSS de la tabla de rango interpretativo

El valor obtenido para el SUSS es un valor numérico que permite determinar el nivel de sostenibilidad del uso del suelo.

La interpretación del SUSS se realiza con base en una escala cualitativa, que permite clasificar el estado del suelo en los siguientes niveles:

Tabla 13: Rangos interpretativos del SUSS

Valor del SUSS	Calidad de suelo	Descripción
0.95 < SUSS ≤ 1	Bueno	Las Condiciones de calidad del suelo son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola.

En esta investigación, el SUSS se aplicó a las muestras de suelo recolectadas en puntos cercanos a vertimientos de aguas residuales, con el fin de evaluar su impacto en la calidad. El valor obtenido se clasificó de acuerdo con esta escala, obteniendo el siguiente resultado.

Tabla 14: Interpretación del SUSS

SUSS	0.4	POBRE
------	-----	-------

3.3.3. Interpretación de resultados

El resultado obtenido para el Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS) fue de 0.40, lo cual, de acuerdo con la escala de interpretación establecida por el MINAM, corresponde a un nivel bajo de sostenibilidad del uso del suelo. Este valor indica que el suelo presenta deficiencias en una o más de sus propiedades físicas y químicas, lo que compromete su capacidad para soportar un uso agrícola o ecológico adecuado sin deteriorarse progresivamente.

Un SUSS bajo suele estar asociado a condiciones como bajo contenido de materia orgánica, pH fuera del rango óptimo, alta conductividad eléctrica (salinidad), compactación (reflejada en una densidad aparente elevada), o textura no ideal para retención de agua y nutrientes. En este caso, el resultado sugiere que el suelo ha sido alterado posiblemente por la infiltración continua de aguas residuales, las cuales pueden modificar su estructura, aumentar su salinidad y disminuir su fertilidad natural.

Este nivel de deterioro representa una advertencia sobre el estado de conservación del suelo, ya que su uso continuo sin medidas de recuperación o manejo sostenible puede conducir a una degradación más severa. Por tanto, se recomienda implementar acciones correctivas como la incorporación de materia orgánica, el control de vertimientos, y el monitoreo periódico de sus propiedades para evitar su pérdida productiva y ambiental.

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente discusión de resultados se basa en los hallazgos obtenidos del monitoreo de calidad de agua y suelo en el cauce de “La Achirana”, sector Santa Rosa del distrito de Parcona. El análisis se realiza en función del cumplimiento de los objetivos específicos y con referencia a los estándares ambientales nacionales, considerando además implicancias sanitarias y ambientales.

4.1. Discusión de resultados para determinar el nivel de contaminación de agua del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.

La discusión de resultado para la contaminación de agua de este trabajo de investigación, tomaron en cuenta el uso que se le da al agua del Cauce “La Achirana” en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.

A través, del análisis de laboratorio de agua se detectó que en todos los puntos muestreados los parámetros de carácter fisicoquímico no sufren alteración alguna y se mantienen dentro de los valores establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Categoría 3, uso en riego de vegetales.

Sin embargo, en los tres puntos muestreados (P1, P2 y P3) el parámetro microbiológico de coliformes termo tolerantes supera ampliamente los valores permitidos en el ECA Agua, con valores desde 24 mil hasta 1,3 millones NMP/100 mL respecto a la subcategoría de riego restringido y no restringido, siendo el punto más afectado el P3, ubicado a la salida del sector Santa Rosa.

Estos resultados comprobaron una afectación crítica a la calidad del agua del cauce, lo cual se convierte en un riesgo para la salud pública debido que el agua se utiliza para el riego de cultivos que son aledaños al cauce, y estos productos son consumidos directamente por la población de Parcona; sin considerar que el agua a veces suele tener uso recreacional por cierta parte de pobladores que desconocen la realidad de la calidad del agua del cauce y por ende sus consecuencias, recordando que según la OMS entrar en contacto con agua contaminadas por coliformes puede ser causante de enfermedades diarreicas, disentería, Hepatitis A y otras enfermedades. [31]

Adicionalmente, se comprobó que el punto aguas abajo (P3) presenta un aumento significativo en la carga microbiana respecto a los puntos aguas arriba, lo que sugiere una acumulación de materia orgánica y una baja capacidad de autodepuración del cauce, agravada por la descarga continua de aguas residuales domésticas sin tratamiento.

Estos resultados son consistentes con investigaciones similares, descritas en los antecedentes y realizadas en otros cuerpos de agua urbanos y periurbanos de América Latina, como en el río Vines (Ecuador), donde también se evidenció un incremento significativo de carga orgánica y coliformes en tramos con presencia de aguas residuales sin tratamiento.

Dichas comparaciones permiten contextualizar la problemática ambiental del cauce de “La Achirana” como parte de un patrón regional asociado a la falta de infraestructura de saneamiento para el tratamiento de aguas residuales, crecimiento urbano no planificado y desordenado y limitada fiscalización en materia de saneamiento.

4.2. Discusión de resultados para determinar el nivel contaminación de suelo del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023.

El otro factor analizado en esta investigación es el Subíndice de Uso Sustentable de Suelo, analizado en un muestreo de 2 puntos constituidos por 2 submuestras; como se observa en el capítulo de resultados, el cálculo del SUSS arrojó un valor de 0.40, clasificado como “suelo pobre”, lo cual refleja un nivel de degradación ambiental considerable al suelo del cauce de “La Achirana”.

Al hacer un análisis a todos los parámetros determinados del programa analítico y los resultados de los análisis de laboratorio; se evidencia que el suelo es de textura arena y arena franca lo cual lo hace inerte dado que carece de una reserva de nutrientes debido a la estructura del suelo, el cual es altamente permeable y puede representar un problema suelo ya que todos los contaminantes se filtran a capas más profundas, incluso aumentando la posibilidad de llegar a contaminar las aguas subterráneas con coliformes termo tolerantes que se encuentran en las aguas superficiales, y dañando la calidad del agua que es usada para consumo humano en la ciudad de Ica [30];

El parámetro de materia orgánica se obtuvieron valores bajos y muy bajos lo cual nos dice que hay poca presencia de seres vivos en el suelo del cauce [30]; el nitrógeno total del suelo del cauce es bajo y muy bajo, lo cual está relacionado de manera directa con la poca presencia de materia orgánica [30]; otro parámetro estudiado fue la densidad aparente, el valor obtenido nos dice que restringe el crecimiento radicular lo cual significa afectación a la flora del lugar [30]; por último se analizó el % de saturación, se obtuvieron porcentajes de 31.15% y 44.53%, este parámetro se relaciona directamente con el pH [32].

Investigaciones similares realizadas en suelos periurbanos de Colombia y Bolivia, donde también se utilizan aguas residuales para riego, han demostrado que el uso continuo de estas aguas sin tratamiento adecuado altera significativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo, disminuyendo su fertilidad y favoreciendo procesos de compactación y salinización.

De manera integrada y conjunta se puede determinar que los resultados del monitoreo de agua y del suelo permite establecer una visión integral del deterioro ambiental del cauce de “La Achirana”, donde la ausencia de tratamiento de aguas residuales y su descarga directa y constantes al cauce generan impactos acumulativos sobre ambos componentes.

Esta situación pone en evidencia la falta de planificación urbana, la informalidad de los sistemas de disposición de aguas domésticas y la necesidad urgente de implementar soluciones estructurales y sostenibles.

En ambos hallazgos, el exceso crítico de coliformes fecales en el agua y el bajo nivel de sostenibilidad del suelo, permiten confirmar la hipótesis general del estudio, la cual establece que el vertimiento de aguas residuales genera un nivel significativo de contaminación en los componentes ambientales evaluados.

Además, los resultados respaldan la necesidad de establecer políticas de gestión integrada de recursos hídricos y edáficos, con un enfoque preventivo, comunitario y basado en evidencia científica.

Si bien los ríos y cauces tienen una capacidad de autodepuración, la cual es una característica natural para destruir las materias extrañas que se incorporan a su flujo [33], la constante presencia de contaminantes impide que el cauce de “La Achirana” pueda restituir sus condiciones idóneas.



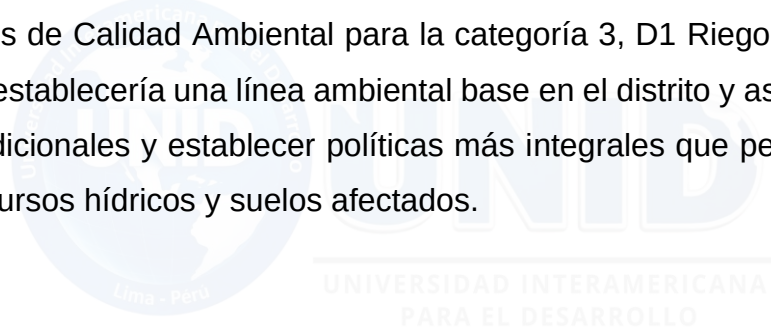
5. CONCLUSIONES

- ✓ Los análisis de laboratorio de las muestras de agua concluyeron que el parámetro microbiológico de coliformes termo tolerantes superó ampliamente los límites establecidos por el ECA para agua – categoría 3 (uso en riego de vegetales), alcanzando en el punto más contaminado valores de hasta 1.300.000 NMP/100 mL, es decir, 1.299 veces por encima del valor permitido. Esta situación demuestra una severa contaminación de origen fecal, asociada a conexiones informales de aguas residuales domésticas vertidas directamente al cauce. Aunque los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron dentro de rangos aceptables, la carga microbiológica detectada representa un grave riesgo sanitario, especialmente debido al uso agrícola de estas aguas para el riego de cultivos de consumo humano.
- ✓ En cuanto al componente suelo, el cálculo del Subíndice de Uso Sostenible del Suelo (SUSS) arrojó un valor de 0.40, clasificado como “POBRE”, lo que concluye un nivel importante de degradación de este componente ambiental. Este resultado se relaciona con deficiencias en la materia orgánica, textura arenosa, alta densidad aparente y bajos niveles de nitrógeno total, condiciones que reducen la fertilidad del suelo y limitan su capacidad y calidad. Asimismo, la infiltración constante de aguas residuales contribuye a la pérdida de calidad del suelo, favoreciendo su compactación y contaminación en capas más profundas.
- ✓ El estado de contaminación y degradación comprobado en ambos componentes ambientales de agua y el suelo del cauce de “La Achirana” tiene repercusiones ambientales, sanitarias y sociales importantes. El uso de agua contaminada para el riego agrícola puede derivar en la propagación de enfermedades de origen hídrico, mientras que la pérdida de calidad del suelo compromete la seguridad alimentaria y el rendimiento de cultivos. Además, estos resultados evidencian una falta de control por parte de las autoridades locales frente a esta problemática, así como la poca vigilancia ambiental, sanitaria, y la insuficiente educación comunitaria para la prevención de impactos mayores.
- ✓ Estos resultados obtenidos permitieron validar la hipótesis general: “El nivel de contaminación de agua y suelo del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, es de nivel alto, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023, afectando su calidad según los estándares ambientales establecidos”, debido a que tanto los parámetros microbiológicos del agua, como el índice de sustentabilidad del suelo demostraron afectación directa y progresiva, la cual se encuentra relacionada con la presencia de fuentes de descarga no controladas ni fiscalizadas.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Debido a que se demostró la contaminación de agua del cauce de “La Achirana” por el vertimiento constante de aguas residuales, y haciendo mención que estas fuentes de descargas están identificadas como una cámara de bombeo y conexiones domésticas, se recomienda para la primera fuente de vertimiento que las autoridades competentes inicien acciones de fiscalización sanitaria y ambiental, para demostrar la responsabilidad de la empresa de saneamiento EMAPICA y exigir las acciones correctivas correspondientes, y en el caso de las conexiones domésticas se recomienda que la empresa a cargo del saneamiento EMAPICA y la Municipalidad Distrital de Parcona, realice las supervisiones correspondientes y clausure estas conexiones informales que desembocan al agua y conectar a estas viviendas a la red de alcantarillado, ya que de acuerdo a la Ley General de Servicios de Saneamiento 26338, todos los usuarios tienen derecho de gozar de un servicio de Alcantarillado y tienen la obligación de unirse a este red en caso se encuentre frente a su inmueble, como es el caso de las viviendas ubicadas en la ribera del cauce en el sector Santa Rosa. De esta manera se reduciría la carga microbiana de coliformes termo tolerantes en el agua del cauce, reduciendo significativamente el riesgo sanitario evidenciado con los resultados de laboratorio.
- ✓ De acuerdo con lo demostrado en el capítulo de resultados, sobre la degradación de la calidad del suelo del cauce de “La Achirana”, ya que el SUSS se ubicó en el rango de “pobre”, se recomienda ejecutar un plan de recuperación del suelo en las zonas afectadas del sector Santa Rosa, priorizando la aplicación de materia orgánica estabilizada como compost, y técnicas de control de compactación. Estas acciones de restauración deben estar orientadas a mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de nutrientes y promover la recuperación biológica del suelo, con la finalidad de evitar la filtración de contaminantes a capas más profundas del suelo y reducir la probabilidad de contaminación a aguas subterráneas.
- ✓ Como se demostró la degradación de los componentes ambientales de agua y suelo, se recomienda implementar constantes campañas de educación ambiental dirigidas a la población local, en especial a los habitantes cercanos al cauce, escolares y agricultores para dar a conocer las repercusiones ambientales, sanitarias y sociales de esta problemática. Estas campañas deben abordar la importancia del cuidado del agua, los riesgos de usar agua contaminada en cultivos, y las consecuencias del mal manejo de aguas servidas. La participación de la comunidad es clave para lograr una gestión ambiental más efectiva y sostenible.

- ✓ Debido a la confirmación de la hipótesis que fue planteada en esta investigación: El nivel de contaminación de agua y suelo del cauce de “La Achirana” por aguas residuales vertidas, es de nivel alto, en el sector Santa Rosa de Parcona, Ica 2023, afectando su calidad según los estándares ambientales establecidos”, se recomienda a las autoridades competentes como Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Dirección Regional de Salud Ambiental, implementar un programa de monitoreo sistemático de la calidad del agua y del suelo a lo largo del cauce de “La Achirana” y así ampliar el alcance de la investigación, para conocer la calidad de agua y suelo durante todo el periodo de riego y también en otras estaciones como la temporada seca; así se podrá evaluar la evolución del impacto generado por esta problemática analizada, Además, se recomienda realizar un estudio ambiental que permita identificar otras causas que puedan afectar y/o alterar la calidad de los componentes ambientales de agua y suelo, ya que los análisis de laboratorio demostraron que para el caso del agua, que las muestras analizadas que pertenecen antes de entrar al cauce ya sobrepasaban los estándares de Calidad Ambiental para la categoría 3, D1 Riego de vegetales. De esta forma se establecería una línea ambiental base en el distrito y así poder detectar zonas críticas adicionales y establecer políticas más integrales que permitan la recuperación de los recursos hídricos y suelos afectados.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Rodriguez Pimentel, «Las aguas residuales y sus efectos contaminantes,» 2017. Disponible: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>.
- [2] C. Villemain, «¿Cómo los residuos sólidos afectan el desarrollo de America Latina?,» 2019. Disponible: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>.
- [3] MIDAGRI, «Contaminación del agua,» 2015. Disponible: <https://www.midagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia/374-problematica>.
- [4] A. Cordova, «La contaminación del río Ica afecta a pequeños y medianos agricultores agrícola.,» 2010. Disponible: <https://agraria.pe/noticias/la-contaminacion-del-rio-ica-afecta-a-pequenos-y-medianos-pr-308>.
- [5] «Ica: aguas residuales en el cauce de la Achirana,» 2020. Disponible: <https://diariocorreo.pe/edicion/ica/ica-aguas-residuales-en-cauce-de-la-achirana-939897/?ref=dcr>.
- [6] R. F. Zavala Vizuete, D. F. Mendez Abarca, D. R. Manzano Vela y D. M. Guanga Chunata, «Influencia de las actividades antropogénicas sobre la calidad del agua en los ríos de la costa ecuatoriana, caso de estudio,» Dominio de las Ciencias, vol. 7, nº 4, pp. 1961-1974, 2021.
- [7] J. A. F. V. Adriana Elena Rivera Meza, «Evaluación microbiológica del agua del río Actopan,» 2022. Disponible: <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/175>.
- [8] M. P. Marinez Nieva, «Evaluación del deterioro de la calidad del agua del Río Las Ceibas ocasionado por el vertimiento de aguas residuales en el Municipio de Neiva, Huila,» 2021. Disponible: <https://ridum.umanizales.edu.co/items/c01625e6-ddac-4d6f-91fb-0d3e7170c9e9>.
- [9] Q. P. S. B. Garay Acuña Ulises, «Efecto de la descarga de las aguas residuales domésticas de la ciudad de los Baños del Inca sobre el agua del Río Chonta, 2021.,» 2021. Disponible: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5452>.
- [10] S. Barreto Caldas, «VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU INFLUENCIA EN LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO HUALLAGA-2019,» 2020. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6451>.

- [11] F. Espinoza Mancisidor, «Evaluación mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) del Río Santa con vertimientos de aguas servidas domésticas, para la conservación del ambiente acuático. sector Huaraz-Jangas, Ancash 2019,» 2020. Disponible: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4354>.
- [12] J. Paucar Cruz, «La contaminación biológica del Río Marañón y su impacto en la calidad de vida de los pobladores de la ciudad de Huacaybamba -2016,» 2019. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6501>.
- [13] R. R. J. R. Ruiz Rodriguez Jimny Francis, «Determinación del impacto ambiental a consecuencia del vertimiento de aguas residuales al Río Patarata, como cuerpo receptor, distrito Santiago de Chuco –La Libertad,» 2019. Disponible: <https://dspace.unitru.edu.pe/items/9cb5fb7f-4189-4f64-bc51-4ff4a6b724ad>.
- [14] E. M. Huahuasoncco Jove, «Identificación y valoración de impacto ambiental de la contaminación por aguas servidas en el Río Ayaviri,» 2018. Disponible: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8775>.
- [15] C. G. K. Vásquez Pérez Jhullianeth, «“Las aguas residuales domésticas y su impacto ambiental-social en el sector Juan Antonio, Moyobamba, 2018”,» 2018. Disponible <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32046>.
- [16] S. M. Roque Aguilar, «Impactos de actividades antrópicas en el recurso agua en la microcuenca del RÍO Timarini – Satipo,» 2017. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3996>.
- [17] V. V. Barrera Castillo, «Vertimiento de aguas residuales domiciliarias y el grado de contaminación del río Pisco, Ica, 2023,» 2024. Disponible: <https://repositorio.unica.edu.pe/items/89573d43-4c65-49e1-8f12-bf757f8df474>.
- [18] L. Zarza, «¿Qué son las aguas residuales?,» 2017. Disponible: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>.
- [19] P. Water, «Aguas residuales domesticas,» Disponible: <https://purewater.com.co/aguas-residuales-domesticas/>.
- [20] D. d. Q. General, «Contaminación del agua y reciclaje como una solución,» 2011. Disponible: <https://dggusac.files.wordpress.com/2011/09/contaminacion3b3n-del-agua-por-desechos-sc3b3lidos-y-reciclaje-2011.pdf>.
- [21] SEMARNAT, «Medio ambiente en México,» 2014. Disponible: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html.

- [22] L. T. reciclados, «¿Cómo se produce la contaminación del suelo?,» Disponible: <https://recicladoslatrinchera.com/contaminacion-del-suelo/>.
- [23] J. d. D. Aguila Sanchez y N. Cubas Irigoin, «Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales,» 2021. Disponible: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/540/5402509002/html/>.
- [24] M. d. M. Ambiente, «La calidad de las aguas,» Disponible: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgicclefindmkaj/https://ceh.cedex.es/web/documentos/LBA/LBA.pdf>.
- [25] MINAM, «MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua,» 2015. Disponible: <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de-diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/>.
- [26] Sagarpa, «Subíndice de uso sustentable de suelo- metodología de cálculo,» Disponible: <https://documents.es/document/subindice-de-uso-sustentable-del-suelo-metodologia-de-calculo.html?page=5>.
- [27] Distrito.pe, «Distrito de parcona,» Disponible: <https://www.districto.pe/districto-parcona.html>.
- [28] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado y P. Baptista Lucio, Metodologia de la investigacion, 6 ed., Ciudad de Mexico: MC Graw Hill Education, 2010, p. 37 y 188.
- [29] Questionpro, «¿Qué es un estudio transversal?,» Disponible e: <https://www.questionpro.com/blog/es/estudio-transversal/>.
- [30] F. Sagarpa, Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo, 2012.
- [31] OMS, «Aguapara consumo humano,» 21 03 2022. Disponible: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [32] FAO, «Portal de Suelos de la FAO,» Disponible: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>. [Último acceso: 19 12 2022].
- [33] Structuralia, «Así es como se produce la autodepuracion de los ríos,» 18 03 2017. Disponible: <https://blog.structuralia.com/como-se-produce-la-autodepuracion-de-los-rios>.
- [34] A. -. MIDAGRI, «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos superficiales,» 2016. Disponible:

<https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>.

[35] «Aque Fundacion,» Disponible: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/reducir-contaminacion-agua/>.

[36] MINAM, «Guía para muestreo de suelos,» 2014. Disponible: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>. [Último acceso: 2022].

