



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR ACTIVIDADES  
TURÍSTICAS Y DISEÑO DE UN SISTEMA TIPO PARA SU TRATAMIENTO EN ZONAS  
DE INFLUENCIA DEL PARQUE NACIONAL CAJAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Civil

**AUTORES: JOAN ALEXANDER PANZA PANZA**  
**MATEO DAVID RIVERA MEDINA**  
**TUTORA: ING. PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO, PhD.**

Cuenca - Ecuador  
2026

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Joan Alexander Panza Panza con documento de identificación N° 0107460008 y Mateo David Rivera Medina con documento de identificación N° 0107896581; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Joan Alexander Panza Panza

0107460008



---

Mateo David Rivera Medina

0107896581

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Joan Alexander Panza Panza con documento de identificación N° 0107460008 y Mateo David Rivera Medina con documento de identificación N° 0107896581, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Caracterización de las aguas residuales generadas por actividades turísticas y diseño de un sistema tipo para su tratamiento en zonas de influencia del Parque Nacional Cajas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Joan Alexander Panza Panza

0107460008



---

Mateo David Rivera Medina

0107896581

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paola Jackeline Duque Sarango con documento de identificación N° 1104257835, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR ACTIVIDADES TURÍSTICAS Y DISEÑO DE UN SISTEMA TIPO PARA SU TRATAMIENTO EN ZONAS DE INFLUENCIA DEL PARQUE NACIONAL CAJAS, realizado por Joan Alexander Panza Panza con documento de identificación N° 0107460008 y por Mateo David Rivera Medina con documento de identificación N° 0107896581, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Ing. Paola Jackeline Duque Sarango, PhD.

1104257835

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación, en primer lugar, a Dios, por haber sido mi fortaleza constante a lo largo de este camino, por sostenerme en los momentos de cansancio y darme la claridad necesaria para continuar cuando el proceso se volvió exigente.

A mis padres, Beatriz y Pedro, por su amor incondicional, su apoyo permanente y su confianza absoluta. Gracias por cada sacrificio que han realizado por mí, por darme todas las herramientas necesarias para que este logro se cumpliera, por nunca dejarme solo aun en momentos de desesperación y pánico, por siempre darme ánimos y la valentía de nunca estancarme en la vida, quizás nada de esto podría haber llegado a ser posible de no ser por ustedes, que el esfuerzo de hoy es la gloria de mañana, esto es para ustedes y por ustedes.

A mi hermana Joseline, por su apoyo y cariño constante. Agradezco que siempre estuvieras ahí, aun con mis malas actitudes y comportamientos, siempre me planteabas algo positivo para que siempre luchara y no me desmotivara en el camino, que algún día podría llegar a ser un gran profesional y una excelente persona, esto también es para ti.

A mi hermano pequeño Pedrito, cuya alegría y ternura han sido una fuente diaria de motivación, recordándome la importancia de perseverar y valorar cada paso del camino.

Este trabajo es el resultado del esfuerzo compartido, del apoyo sincero y del amor de mi familia, quienes han estado presentes en cada etapa de este proceso.

*JOAN ALEXANDER PANZA*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiar cada paso de este camino, por brindarme sabiduría, constancia y fortaleza, y por permitirme culminar este proyecto, como fruto de esfuerzo y aprendizaje.

A mis padres y hermanos, gracias por el respaldo permanente, la confianza inquebrantable y el esfuerzo constante que me permitió dedicarme plenamente a mi formación profesional. Su apoyo fue mucho más que material: fue la certeza de no estar solo y de contar siempre con un lugar al cual volver.

A mis amigos, quienes se convirtieron en compañeros inseparables durante la universidad, gracias por haber compartido no solo aulas y trabajos, sino también risas, desacuerdos, cansancio y aprendizajes. Con ustedes, la carrera no fue solo un recorrido académico, sino una experiencia humana que dejó huellas profundas.

D.E. de una manera muy especial te agradezco por estar presente en las altas y en las bajas de todo este trayecto. Gracias por su apoyo constante y por la confianza que siempre depositó en mí, recordándome con sus palabras que este esfuerzo valía la pena. Por acompañarme con paciencia, por hacerme sonreír cuando el cansancio pesaba y por permanecer firme incluso cuando surgieron diferencias. Su compañía le dio equilibrio y sentido a cada etapa de este camino.

A todos ustedes, gracias por haber sido parte de este proceso. Este logro no se entiende sin las personas que caminaron conmigo.

*JOAN ALEXANDER PANZA*

## DEDICATORIA

“Toda obra que nace del corazón merece ser reconocida con gratitud.”

Dedico este logro, a Dios y a la Virgen del Cisne, por sostenerme en los momentos de mayor cansancio, por infundirme esperanza y fortaleza cuando el camino se volvió pesado y las cargas parecían demasiado grandes, y por recordarme, en todo momento, que nunca caminé solo.

A mi mami, mi fuerza, mi refugio y mi mayor ejemplo de amor y sacrificio. Gracias por darme aquello que tú muchas veces no pudiste tener, por luchar incansablemente y por sacrificar tanto de ti para verme llegar hasta aquí. Gracias por cada esfuerzo, por cada palabra y gesto de aliento cuando quise rendirme, y por enseñarme a ser fuerte incluso en los momentos más difíciles. Todo lo que soy y todo lo que he logrado nace de tu amor y tu entrega; por eso, este logro es tan tuyo como mío, porque, si alguna vez dudé, bastó pensar en ti para encontrar fuerzas y continuar.

A mi abuela, que hoy ya no está físicamente conmigo, pero vive en cada recuerdo, en cada consejo y en cada paso que doy. Tus enseñanzas, tu cariño y tu presencia me acompañaron durante todo este proceso. Aún viven en mis pensamientos aquellos momentos en los que, desde que estaba pequeño, me decías: “Debes ir a estudiar para que seas alguien en la vida”. Tus palabras se convirtieron en guía y hoy forman parte de este logro. Este trabajo lo dedico a tu memoria, con la certeza de que, aunque ya no estés aquí, sigo caminando con tu voz en el corazón y tu amor como guía.

Finalmente, dedico este proyecto a mi sobrina, con todo el cariño, amor y aprecio que siento por ti. Que este trabajo sea un ejemplo de que los sueños se alcanzan con esfuerzo, perseverancia y dedicación. Espero que recuerdes que el amor, la entrega y la constancia pueden convertir cualquier meta en realidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi mami, gracias por estar siempre, incluso en los días en que el cansancio me hizo dudar de mí mismo. Gracias por tu paciencia, por tu apoyo y por sostenerme con tu presencia cuando las palabras no eran necesarias, pero que me permitió seguir adelante cuando el camino se volvió difícil.

Mi sincero agradecimiento, a mi tío por el respaldo brindado, por los consejos oportunos y por la confianza depositada en mí. Su apoyo fue clave para afrontar este proceso con mayor seguridad y determinación.

A. M.V, gracias por caminar a mi lado cuando el proceso se volvió pesado, por comprender mis ausencias, mis silencios y mis días difíciles. Gracias por estar sin exigir, por acompañar sin condiciones y por ser apoyo en los momentos en que más lo necesité. Tu presencia hizo que este camino se sintiera menos solitario y mucho más humano; dejaste una huella en esta etapa de mi vida.

A mis compañeros, gracias por compartir no solo trabajos y responsabilidades, sino también risas, desvelos, estrés y pequeños triunfos. Gracias por el compañerismo sincero, por el apoyo mutuo y por las anécdotas que hoy quedan como recuerdos imborrables. Entre esfuerzos y bromas, este proceso se volvió más llevadero y significativo gracias a ustedes.

A Dios y la Virgen, mi agradecimiento por la sabiduría, la fortaleza y la fe que acompañaron cada etapa de este esfuerzo.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	22
CAPITULO I.....	24
GENERALIDADES.....	24
1.1. Tema .....	24
1.2. Justificación.....	24
1.3. Objetivos.....	26
1.3.1. Objetivo general .....	26
1.3.2. Objetivos específicos .....	26
CAPITULO II .....	27
MARCO TEÓRICO .....	27
2.1. El Agua .....	27
2.1.1. El agua como recurso natural.....	27
2.1.2. Calidad del agua .....	29
2.1.3. Contaminación del agua .....	30
2.1.4. Fuentes de contaminación hídrica .....	32
2.1.5. Impactos de la contaminación del agua.....	32
2.2. Aguas Residuales .....	33
2.2.1. Agua Residual .....	33
2.2.2. Características del agua residual .....	34
2.2.3. Clasificación del agua residual.....	35
2.2.4. Origen del Agua residual.....	40
2.2.5. Caracterización del agua residual .....	40
2.2.6. Contaminantes del agua residual.....	41
2.3. Muestreo de agua residual .....	42
2.3.1. Tipo de muestreo .....	43
2.3.2. Conservación de la muestra .....	44
2.4. Caudales de diseño en sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	44
2.5. Tratamiento de aguas residuales.....	45
2.5.1. Pretratamiento.....	46
2.5.2. Tratamiento primario .....	48

2.5.3. Tratamiento secundario.....	49
CAPITULO III.....	52
MATERIALES Y MÉTODOS .....	52
3.1. Descripción del sitio de estudio.....	52
3.2. Establecimientos evaluados y toma de muestras .....	53
3.3. Medición in situ de condiciones ambientales y ensayos complementarios realizados en laboratorio .....	71
3.3.1. Toma de muestras de aguas residuales .....	71
3.3.2. Prevención y transporte de muestras .....	73
3.3.3. Control de calidad .....	74
3.3.4. Medición de nitrito rango alto.....	74
3.3.5. Medición de nitrato .....	76
3.3.6. Medición de turbidez .....	78
3.3.7. Medición de alcalinidad .....	79
3.3.8. Medición de conductividad eléctrica .....	81
3.3.9. Medición de conductividad compensada.....	82
3.3.10. Medición de salinidad .....	83
3.3.11. Medición de potencial redox .....	83
3.3.12. Medición de potencial de hidrogeno (pH).....	84
3.3.13. Medición de saturación de oxígeno disuelto .....	84
3.3.14. Medición de oxígeno disuelto .....	85
3.3.15. Medición de temperatura .....	85
3.3.16. Medición de presión.....	86
3.3.17. Medición de demanda química de oxígeno (DQO) .....	87
3.3.18. Medición de solidos suspendidos totales .....	90
3.3.19. Medición de solidos disueltos totales .....	93
3.3.20. Medición de solidos totales .....	95
3.3.21. Medición E. coli.....	97
3.4. Estimación del caudal de diseño.....	101
3.5. Pretratamiento.....	102
3.5.1. Rejillas.....	102
3.6. Tratamiento primario .....	103
3.6.1. Sedimentador.....	103

3.7.	Tratamiento secundario .....	103
3.7.1.	Vermifiltro .....	104
3.7.2.	Humedal artificial .....	104
CAPITULO IV .....		106
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		106
4.1.	Datos In situ .....	106
4.1.1.	Temperatura °C .....	106
4.1.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	108
4.1.3.	Conductividad eléctrica (µS/cm).....	109
4.1.4.	Conductividad compensada (µS/cm) .....	111
4.1.5.	Salinidad (PSU) .....	113
4.1.6.	Sólidos suspendidos totales (SST) .....	115
4.1.7.	Sólidos disueltos totales (SDT) .....	117
4.1.8.	Sólidos totales (ST).....	119
4.1.9.	Oxígeno disuelto (mg/L).....	121
4.1.10.	Saturación de oxígeno disuelto (%OD).....	123
4.1.11.	Potencial redox (ORP).....	125
4.1.12.	Presión atmosférica (psi) .....	126
4.2.	Caracterización físico-química del agua residual.....	128
4.2.1.	Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	128
4.2.2.	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	130
4.2.3.	Turbidez (NTU).....	132
4.2.4.	Alcalinidad (mg/L) .....	134
4.2.5.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	136
4.3.	Caracterización microbiológica del agua residual.....	138
4.3.1.	Escherichia coli (UFC/100 mL).....	139
4.4.	Cálculo de caudales .....	140
4.5.	Pretratamiento.....	142
4.5.1.	Rejillas.....	142
4.6.	Tratamiento primario .....	144
4.6.1.	Sedimentador .....	144
4.7.	Tratamiento secundario.....	147
4.7.1.	Vermifiltro .....	147

<b>4.7.2. Humedal artificial</b> .....	150
<b>CONCLUSIONES</b> .....	154
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	156
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	157
<b>ANEXOS</b> .....	164

## ÍNDICE DE TABAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la contaminación del agua según su origen .....	31
<b>Tabla 2.</b> Temperatura y tiempo de muestras e. Coli .....	100
<b>Tabla 3.</b> Caracterización de temperatura (°C) .....	107
<b>Tabla 4.</b> Caracterización de pH (UpH).....	108
<b>Tabla 5.</b> Caracterización de Conductividad eléctrica (μS/cm).....	110
<b>Tabla 6.</b> Caracterización de Conductividad compensada (μS/cm).....	112
<b>Tabla 7.</b> Caracterización de Salinidad (PSU) .....	114
<b>Tabla 8.</b> Caracterización de Solidos suspendidos totales (mg/L).....	116
<b>Tabla 9.</b> Caracterización de Solidos disueltos totales (mg/L) .....	118
<b>Tabla 10.</b> Caracterización de Solidos totales (mg/L) .....	120
<b>Tabla 11.</b> Caracterización de Oxígeno disuelto (mg/L).....	122
<b>Tabla 12.</b> Caracterización de saturación de oxígeno disuelto (OD%).....	124
<b>Tabla 13.</b> Caracterización de Potencial Redox (mV). .....	125
<b>Tabla 14.</b> Caracterización de presión (psi) .....	127
<b>Tabla 15.</b> Caracterización de Nitrito rango alto .....	129
<b>Tabla 16.</b> Caracterización de Nitrato (mg/L).....	131
<b>Tabla 17.</b> Caracterización de Turbidez (NTU) .....	133
<b>Tabla 18.</b> Caracterización de Alcalinidad (mg/L) .....	135
<b>Tabla 19.</b> Caracterización de DQO (mg/L) .....	137
<b>Tabla 20.</b> Caracterización de E. coli (UFC/100mL).....	139
<b>Tabla 21.</b> Caudales de diseño .....	141
<b>Tabla 22.</b> Datos de entrada para rejillas .....	142
<b>Tabla 23.</b> Datos de entrada de sedimentador .....	145
<b>Tabla 24.</b> Datos de entrada usados en el diseño .....	147
<b>Tabla 25.</b> Dimensionamiento hidráulico .....	147
<b>Tabla 26.</b> Estratigrafía del lecho (resultado constructivo).....	147
<b>Tabla 27.</b> Verificaciones y resultados operativos .....	148
<b>Tabla 28.</b> Materiales por capa .....	148
<b>Tabla 29.</b> Datos de entrada .....	150

<b>Tabla 30.</b> Cálculo hidráulico principal .....	151
<b>Tabla 31.</b> Geometría “constructible” .....	151
<b>Tabla 32.</b> Verificaciones hidráulicas (resultado) .....	151
<b>Tabla 33.</b> Vegetación .....	152

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura del agua .....	28
<b>Figura 2.</b> Agua residual .....	34
<b>Figura 3.</b> Rejillas.....	47
<b>Figura 4.</b> Sedimentador.....	48
<b>Figura 5.</b> Vermifiltro .....	50
<b>Figura 6.</b> Humedal artificial.....	51
<b>Figura 7.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Temperatura .....	107
<b>Figura 8.</b> Diagrama de cajas y bigotes, pH .....	109
<b>Figura 9.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Conductividad eléctrica .....	111
<b>Figura 10.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Conductividad compensada.....	113
<b>Figura 11.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Salinidad .....	114
<b>Figura 12.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Solidos suspendidos totales .....	117
<b>Figura 13.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Solidos disueltos totales.....	119
<b>Figura 14.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Solidos totales.....	121
<b>Figura 15.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Oxígeno disuelto.....	123
<b>Figura 16.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Saturación .....	124
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Potencial Redox.....	126
<b>Figura 18.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Presión .....	128
<b>Figura 19.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Nitrito .....	130
<b>Figura 20.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Nitrato.....	132
<b>Figura 21.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Turbidez.....	134
<b>Figura 22.</b> Diagrama de cajas y bigotes, Alcalinidad.....	136
<b>Figura 23.</b> Diagrama de cajas y bigotes, DQO .....	138
<b>Figura 24.</b> Diagrama de cajas y bigotes, E. coli.....	140

## ÍNDICE DE IMAGENES

<b>Imagen 1.</b> Ruta de toma de muestras (Parque Nacional Cajas) .....	53
<b>Imagen 2.</b> Sitio 1 .....	55
<b>Imagen 3.</b> Toma de muestra, sitio 1 .....	55
<b>Imagen 4.</b> Sitio 2 .....	56
<b>Imagen 5.</b> Toma de muestra, sitio 2 .....	57
<b>Imagen 6.</b> Sitio 3 .....	58
<b>Imagen 7.</b> Toma de muestra, sitio 3 .....	58
<b>Imagen 8.</b> Sitio 4 .....	59
<b>Imagen 9.</b> Toma de muestra, sitio 4 .....	60
<b>Imagen 10.</b> Sitio 5 .....	61
<b>Imagen 11.</b> Toma de muestra, sitio 5.....	61
<b>Imagen 12.</b> Sitio 6 .....	62
<b>Imagen 13.</b> Toma de muestra, sitio 6 .....	63
<b>Imagen 14.</b> Sitio 7 .....	64
<b>Imagen 15.</b> Toma de muestra, sitio 7 .....	64
<b>Imagen 16.</b> Sitio 8 .....	65
<b>Imagen 17.</b> Toma de muestra, sitio 8 .....	66
<b>Imagen 18.</b> Sitio 9 .....	67
<b>Imagen 19.</b> Toma de muestra, sitio 9 .....	67
<b>Imagen 20.</b> Sitio 10.....	68
<b>Imagen 21.</b> Toma de muestra, sitio 10 .....	69
<b>Imagen 22.</b> Sitio 11 .....	70
<b>Imagen 23.</b> Toma de muestra, sitio 11.....	70
<b>Imagen 24.</b> Toma de muestras de agua residual.....	72
<b>Imagen 25.</b> Conservación de agua residual.....	73
<b>Imagen 26.</b> Medición de nitrito rango alto.....	76
<b>Imagen 27.</b> Medición de nitrato .....	77
<b>Imagen 28.</b> Medición de turbidez.....	79
<b>Imagen 29.</b> Medición de alcalinidad .....	80
<b>Imagen 30.</b> Medición de conductividad eléctrica.....	81
<b>Imagen 31.</b> Medición de conductividad compensada .....	82

<b>Imagen 32.</b> Medición de salinidad .....	84
<b>Imagen 33.</b> Medición de temperatura.....	86
<b>Imagen 34.</b> Medición de presión.....	87
<b>Imagen 35.</b> Preparación de muestra (DQO).....	89
<b>Imagen 36.</b> Medición de solidos suspendidos totales .....	92
<b>Imagen 37.</b> Filtro con residuos.....	92
<b>Imagen 38.</b> Medición de solidos disueltos totales.....	94
<b>Imagen 39.</b> Materiales y placas petrifilm.....	98
<b>Imagen 40.</b> Medición e. Colí.....	101

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Dimensionamiento de rejillas .....	144
<b>Ilustración 2.</b> Dimensionamiento de sedimentador .....	146
<b>Ilustración 3.</b> Dimensionamiento de vermifiltro.....	150
<b>Ilustración 4.</b> Dimensionamiento de humedal .....	153

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Encuestas realizadas en sitios de investigación.....	164
<b>Anexo 2.</b> Códigos en Matlab de cajas y bigotes de cada ensayo .....	180

## RESUMEN

La evaluación y protección de la calidad del agua ha adquirido una creciente importancia debido al incremento de las actividades humanas y a los impactos ambientales asociados a la generación de aguas residuales. En zonas naturales y áreas protegidas, la falta de un manejo adecuado de estos efluentes puede provocar deterioro de los cuerpos de agua y afectar el equilibrio de los ecosistemas.

La presente investigación se enfoca en la caracterización de las aguas residuales generadas por actividades turísticas en zonas de influencia del Parque Nacional Cajas, con el fin de conocer sus características físico-químicas y microbiológicas. A partir de los resultados obtenidos, se propone el diseño de un sistema tipo para el tratamiento de dichas aguas residuales, orientado a mitigar el impacto ambiental producido por su descarga.

El sistema propuesto contempla etapas de pretratamiento mediante rejillas, tratamiento primario por sedimentación y tratamiento secundario a través de un humedal artificial y una unidad posterior de vermifiltro, seleccionados por su facilidad de implementación y adecuación a contextos rurales y ecosistemas sensibles. Los resultados del estudio buscan contribuir a la gestión sostenible del recurso hídrico y servir como referencia para el tratamiento de aguas residuales en áreas turísticas de alta sensibilidad ambiental.

## **ABSTRACT**

The assessment and protection of water quality has become increasingly important due to the rise in human activities and the environmental impacts associated with wastewater generation. In natural areas and protected zones, the lack of proper management of these effluents can lead to the deterioration of water bodies and disrupt the balance of ecosystems.

The research focuses on characterizing the wastewater generated by tourism activities in the areas surrounding Cajas National Park, in order to understand its physicochemical and microbiological characteristics. Based on the results obtained, a standard wastewater treatment system is proposed, designed to mitigate the environmental impact of its discharge.

The proposed system includes pretreatment stages using screens, primary treatment by sedimentation, and secondary treatment through an artificial wetland and a subsequent vermifilter unit, selected for their ease of implementation and suitability for rural contexts and sensitive ecosystems. The results of the study seek to contribute to the sustainable management of water resources and serve as a reference for wastewater treatment in tourist areas of high environmental sensitivity.

## INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para el desarrollo de las sociedades y el equilibrio de los ecosistemas, al desempeñar un papel fundamental en la salud pública, la actividad económica y la sostenibilidad ambiental. No obstante, el incremento de las actividades humanas ha intensificado la presión sobre los recursos hídricos, especialmente en lo relacionado con la generación y disposición de aguas residuales. (*Global Status Report on Water Safety Plans, 2014.*)

El Parque Nacional Cajas representa un sistema estratégico de regulación hídrica para el sur del Ecuador y una fuente fundamental de abastecimiento de agua para la ciudad de Cuenca. Las aguas superficiales originadas en este ecosistema alimentan ríos y quebradas que posteriormente son aprovechados para consumo humano y otros usos urbanos. En este contexto, la generación de aguas residuales por actividades turísticas en las zonas de influencia del parque, sumada a la ausencia o deficiencia de sistemas de tratamiento, puede comprometer la calidad del recurso hídrico que ingresa a la ciudad, incrementando el riesgo ambiental y sanitario. (Parque Nacional Cajas – ETAPA EP, 2002)

La caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales constituye una etapa esencial para evaluar su carga contaminante y comprender su comportamiento frente a los procesos de tratamiento. Parámetros como la demanda química de oxígeno, los sólidos totales, la conductividad eléctrica, los nutrientes y la presencia de *Escherichia coli*, permiten establecer criterios técnicos confiables para el diseño de sistemas de depuración, particularmente en entornos de alta sensibilidad ambiental. (*APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.). Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.*)

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar las aguas residuales generadas por actividades turísticas en los sitios de restaurantes y paraderos ubicados en la zona de influencia del Parque Nacional Cajas y proponer el diseño de un sistema tipo para su tratamiento, contemplando etapas de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario mediante tecnologías apropiadas para contextos rurales y ecosistemas sensibles. El estudio busca aportar criterios técnicos que orienten la selección de soluciones de saneamiento eficientes, de bajo impacto ambiental y acordes a las condiciones locales, contribuyendo a la protección del recurso hídrico y a la sostenibilidad del desarrollo turístico.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1.Tema

Caracterización de las aguas residuales generadas por actividades turísticas y diseño de un sistema tipo para su tratamiento en zonas de influencia del parque nacional cajas.

### 1.2. Justificación

La creciente actividad turística en el Parque Nacional Cajas evidencia la imperiosa necesidad de mejorar la gestión y el tratamiento de las aguas residuales en la zona. La mayoría de los establecimientos turísticos no cuentan con sistemas formales de saneamiento, recurriendo a soluciones improvisadas como pozos sépticos deficientes o descargas directas. Además, se ha detectado la presencia de botaderos clandestinos y malas prácticas de manejo ambiental, lo que agrava la contaminación del ecosistema (Un Botadero Clandestino Crecía En El Parque Nacional Cajas, 2025).

La carencia de infraestructuras adecuadas y la prevalencia de prácticas ambientales inadecuadas ponen en riesgo la calidad de los recursos hídricos, vitales tanto para la población de Cuenca como para los ecosistemas aledaños. Este escenario plantea la necesidad urgente de una intervención técnica que permita caracterizar las aguas residuales generadas por la actividad turística en la zona y determinar la calidad del efluente turístico.

El presente estudio propone un sistema de tratamiento tipo, basado en el conocimiento de la carga contaminante y sus particularidades, con el fin de diseñar una alternativa económicamente adecuada y ambientalmente viable que servirá como herramienta replicable en otros contextos

similares que minimice el impacto ambiental. Asimismo, se busca contribuir a la planificación de autoridades locales, operadores turísticos y entidades de control ambiental, y brindar lineamientos técnicos que faciliten la toma de decisiones sostenibles. De esta manera, se contribuirá no solo a la conservación de esta reserva ecológica, sino también al uso responsable del recurso hídrico en un área de alta sensibilidad ambiental y relevancia estratégica para el abastecimiento de agua potable en la región.

En diversas áreas protegidas con turismo rural, ya se han desarrollado sistemas que traten las aguas residuales, como lagunas de estabilización, humedales construidos y tecnologías sostenibles adaptadas al contexto ambiental y social, como en la comunidad Tabacay, cantón Azogues, provincia de Cañar (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017); comunidad de Alacao, cantón Guano, provincia de Chimborazo (Ernesto & Cascante, 2021); comunidad Andina de Yacubiana, cantón Guaranda, provincia de Bolívar (Merchán-Sanmartín et al., 2025). Sin embargo, aún persisten retos en zonas rurales, principalmente por la falta de recursos y de conocimiento técnico.

Por esta razón, resulta imprescindible implementar soluciones integrales que fortalezcan la capacidad de tratamiento de aguas y promuevan un manejo ambiental responsable, garantizando así la protección del ecosistema y la sostenibilidad del turismo en la región.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Proponer un diseño tipo de tratamiento de aguas residuales generadas por la actividad turística en el entorno del Parque Nacional Cajas, considerando sus características, normativas, viabilidad técnica, económica y ambiental.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la cantidad, calidad y origen de las aguas residuales generadas por establecimientos turísticos en sectores estratégicos del área de influencia del Parque Nacional Cajas, mediante muestreos, encuestas y análisis de prácticas de gestión actuales.
- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales adaptable a establecimientos turísticos rurales, considerando soluciones sostenibles y tecnologías apropiadas que se ajusten a las condiciones físico-ambientales de la zona.
- Analizar las ventajas y limitaciones técnicas, económicas, operativas y ambientales de implementar el sistema tipo propuesto, incluyendo criterios de replicabilidad, facilidad de mantenimiento y aceptación por parte de actores locales.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

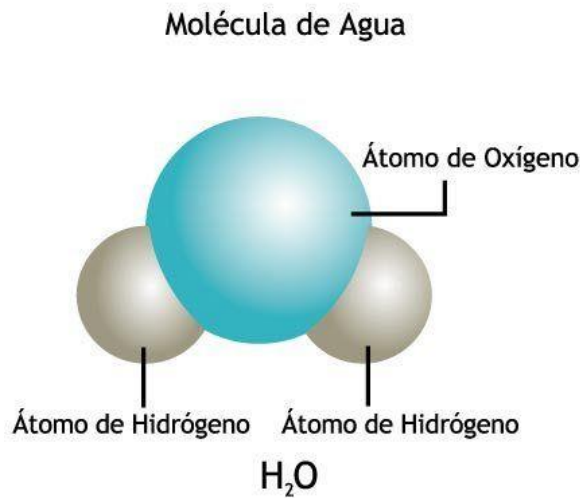
#### 2.1. El Agua

##### 2.1.1. El agua como recurso natural

El agua es una sustancia inorgánica compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O), indispensable para la vida y para el desarrollo de los ecosistemas y las actividades humanas. El agua es considerada tanto un recurso esencial como un vector de transporte de contaminantes, lo que la convierte en un elemento crítico dentro de los sistemas de saneamiento ambiental. (Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery (5th Edition) - Intro | PDF | Sewage Treatment | Chemistry, 2014)

Desde el punto de vista físico-químico, el agua presenta propiedades particulares como elevada polaridad molecular, alta constante dieléctrica, gran capacidad calorífica y notable poder disolvente. Estas características permiten la disolución y transporte de compuestos orgánicos e inorgánicos, incluidos contaminantes provenientes de actividades antrópicas. Esta capacidad disolvente es la razón principal por la cual las aguas superficiales y subterráneas son altamente vulnerables a la contaminación por descargas de aguas residuales sin tratamiento. (*Chemistry For Environmental Engineering and Science (Sawyer and McCarty) 01 | PDF, n.d.*)

**Figura 1. Estructura del agua**



***Fuente: (Molécula de Agua - Buscar Con Google, 2016)***

En su estado natural, el agua contiene pequeñas cantidades de sólidos disueltos, gases y microorganismos que no representan un riesgo ambiental. Sin embargo, cuando se incorporan contaminantes orgánicos, nutrientes, sólidos suspendidos y patógenos en concentraciones elevadas, se produce un deterioro significativo de su calidad, afectando su aptitud para usos posteriores y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.(Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, 4th Edition | PDF | Water Purification | Sewage Treatment, 2013)

Desde la perspectiva del saneamiento, la gestión del agua debe contemplar no solo su abastecimiento, sino también la recolección, tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales generadas por las actividades humanas. La falta de sistemas de tratamiento adecuados constituye una de las principales causas de contaminación hídrica a nivel mundial, especialmente en zonas rurales y áreas protegidas.(Department of Public Health & World Health Organization, 2018)

### **2.1.2. Calidad del agua**

La calidad del agua se define como el conjunto de características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que determinan su aptitud para un uso específico. Desde el enfoque de la ingeniería sanitaria, esta definición es fundamental, ya que permite establecer criterios técnicos para el abastecimiento, el tratamiento, el reúso o la descarga del agua en un cuerpo receptor sin generar impactos negativos al ambiente o a la salud humana.(Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery (5th Edition) - Intro | PDF | Sewage Treatment | Chemistry, 2014)

No es un concepto absoluto, sino relativo al uso que se le asigne. Un agua que cumple condiciones adecuadas para riego agrícola puede no ser apta para consumo humano o recreación. Por esta razón, los organismos reguladores establecen estándares de calidad diferenciados según el destino final del recurso, lo que permite una gestión técnica y normativa más eficiente.(Dalglish, 2017)

Desde el punto de vista físico, la calidad del agua está asociada a parámetros como temperatura, color, olor, turbidez y sólidos totales. Estos parámetros influyen directamente en la percepción visual y sensorial del agua, pero también condicionan los procesos químicos y biológicos que ocurren en ella. En sistemas naturales, variaciones bruscas de estos parámetros suelen indicar procesos de contaminación.(Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F, 2003)

En cuanto a la calidad química, esta se relaciona principalmente con la presencia de materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo), sales disueltas, metales y compuestos tóxicos. La acumulación excesiva de estos elementos altera el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y puede

provocar fenómenos como eutrofización, toxicidad para organismos vivos y deterioro de fuentes de abastecimiento.(Mainier, 2015)

La calidad biológica del agua está determinada por la presencia de microorganismos patógenos como bacterias, virus y protozoos. Debido a la dificultad de identificar todos los organismos patógenos, se utilizan indicadores microbiológicos, siendo los coliformes fecales los más empleados para evaluar el riesgo sanitario asociado al agua.(Standard Methods, 2013)

En cuerpos de agua superficiales, la degradación de la calidad se manifiesta mediante la reducción del oxígeno disuelto, la proliferación de algas y el aumento de sólidos en suspensión. Estos efectos son consecuencia directa de la descarga de aguas residuales con elevada carga orgánica, lo que altera los procesos naturales de autodepuración.(Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery, 2014)

La preservación de la calidad del agua requiere un enfoque integral que contemple la prevención de la contaminación, el tratamiento adecuado de las aguas residuales y el monitoreo continuo de los cuerpos receptores.

### **2.1.3. Contaminación del agua**

Se la define como la alteración de sus características físicas, químicas o biológicas debido a la incorporación de sustancias o energía en concentraciones que superan su capacidad natural de autodepuración. Esta alteración compromete la aptitud del recurso para usos actuales o futuros y genera impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana.(Department of Public Health & World Health Organization, 2018)

La contaminación hídrica se produce principalmente por la descarga de aguas residuales sin tratamiento, las cuales contienen materia orgánica biodegradable, nutrientes, sólidos

suspendidos y microorganismos patógenos. Estos contaminantes consumen oxígeno disuelto durante su degradación, alterando el equilibrio ecológico de los cuerpos receptores.(Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, 2013)

La contaminación del agua puede clasificarse según su origen en doméstica, industrial, agrícola y turística. En áreas rurales y zonas protegidas, la contaminación asociada al turismo suele ser subestimada; sin embargo, estudios demuestran que las descargas de pequeños establecimientos, cuando son continuas y no tratadas, generan impactos acumulativos significativos.(Programme, 2016)

**Tabla 1.** Clasificación de la contaminación del agua según su origen

<b>Tipo de contaminación</b>	<b>Fuente principal</b>	<b>Características del efluente</b>	<b>Impactos asociados</b>
<b>Doméstica</b>	Viviendas, servicios sanitarios, establecimientos de servicios	Alta carga de materia orgánica biodegradable, nutrientes y microorganismos patógenos	Disminución del oxígeno disuelto, riesgos sanitarios y deterioro de cuerpos de agua
<b>Industrial</b>	Procesos productivos e industriales	Presencia de compuestos químicos, metales pesados y sustancias tóxicas	Toxicidad para organismos acuáticos y alteración química del agua
<b>Agrícola</b>	Actividades agrícolas y pecuarias	Nutrientes (nitrógeno y fósforo), pesticidas y sedimentos	Eutrofización y degradación de ecosistemas acuáticos
<b>Turística</b>	Restaurantes, hosterías, centros turísticos	Efluentes asimilables a domésticos, con grasas, detergentes y variabilidad de caudal	Impactos acumulativos en zonas rurales y áreas protegidas

*Fuente: (Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource, 2014)*

En cuerpos de agua superficiales, la contaminación se manifiesta mediante fenómenos como disminución del oxígeno disuelto, proliferación de algas, incremento de turbidez y

acumulación de sedimentos. Estos efectos reducen la biodiversidad acuática y limitan el uso del agua para abastecimiento humano, recreación y riego.(Pitot, 1996)

#### **2.1.4. Fuentes de contaminación hídrica**

Estas pueden clasificarse en puntuales y difusas. Las fuentes puntuales corresponden a descargas identificables, como efluentes de establecimientos turísticos, mientras que las fuentes difusas se originan a partir de escorrentías superficiales que arrastran contaminantes de forma dispersa.(*National Water Quality Inventory Report to Congress | US EPA, 2017*)

En el caso del turismo rural, las fuentes puntuales de contaminación están asociadas principalmente a sistemas de saneamiento inadecuados, tales como pozos sépticos mal diseñados, descargas directas al suelo y vertidos a cursos de agua sin tratamiento previo (Duque-Sarango, P., & Hernández, 2020). Estas prácticas son frecuentes en zonas donde no existe infraestructura centralizada de alcantarillado.(Crites, R., & Tchobanoglous, G. *Small and Decentralized Waste Water Management System, 1998*)

Las fuentes difusas, por su parte, incluyen el arrastre de contaminantes por lluvias, el uso de detergentes biodegradables en áreas abiertas y la disposición inadecuada de residuos sólidos. Aunque individualmente pueden parecer insignificantes, su efecto acumulado puede generar una degradación progresiva de la calidad del agua.(Novotny, 2003)

#### **2.1.5. Impactos de la contaminación del agua**

La contaminación del agua genera impactos ambientales, sanitarios, sociales y económicos. Los principales efectos incluyen la pérdida de biodiversidad acuática, la alteración de cadenas tróficas y la degradación de hábitats naturales.

El consumo o contacto con agua contaminada puede provocar enfermedades de origen hídrico, tales como gastroenteritis, hepatitis y parasitosis. Estas afecciones están directamente relacionadas con la presencia de microorganismos patógenos en aguas residuales sin tratamiento adecuado.

En el ámbito socioeconómico, la contaminación hídrica afecta la disponibilidad de agua potable, incrementa los costos de tratamiento y limita el desarrollo de actividades productivas y turísticas. En áreas protegidas, estos impactos pueden comprometer la sostenibilidad del turismo y la aceptación social de la actividad.(Akhmouchet, 2018)

## **2.2. Aguas Residuales**

### **2.2.1. Agua Residual**

Las aguas residuales son el resultado del uso del agua en actividades humanas y de la incorporación de sustancias que modifican su calidad original, contiene una mezcla de materiales disueltos y suspendidos. En forma general incluye aportes de origen doméstico, comercial, institucional y, en ciertos casos, industrial; sin embargo, la naturaleza del efluente depende de las actividades específicas del generador y de la presencia o ausencia de descargas no domésticas.(*Tratamiento y Depuración de Las Aguas Residuales*, 2014)

*Figura 2. Agua residual*



*Fuente: (Tipos de Aguas Residuales - Hidrotec, 2013)*

En establecimientos turísticos (hoteles, restaurantes, cafeterías, refugios), el efluente se considera típicamente asimilable a doméstico, porque proviene principalmente de sanitarios, cocinas, duchas y lavanderías. No obstante, puede presentar picos de grasas y aceites (cocina), detergentes (lavado), y alta variabilidad de caudal por estacionalidad turística, lo que exige criterios de diseño que contemplen fluctuaciones y cargas máximas. (Operation of Water Resource Recovery Facilities, MOP 11, 2013)

### **2.2.2. Características del agua residual**

Las características del agua residual se describen mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales permiten evaluar su calidad y comportamiento frente a los procesos de tratamiento (Duque-Sarango & Pinos, 2022).

Los parámetros físicos incluyen temperatura, color, olor, turbidez y sólidos, los cuales influyen en la apariencia del agua y en la eficiencia de los procesos de tratamiento. Los parámetros químicos comprenden la materia orgánica, nutrientes, pH, alcalinidad y compuestos disueltos,

mientras que los parámetros biológicos se relacionan con la presencia de microorganismos indicadores y patógenos.(APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - *References - Scientific Research Publishing*, n.d.)

La correcta caracterización de estos parámetros es fundamental para seleccionar y dimensionar adecuadamente las unidades de tratamiento, así como para evaluar el impacto ambiental de la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua superficiales.

### **2.2.3. Clasificación del agua residual**

Las características del agua residual se determinan a partir del análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales permiten evaluar su calidad, su comportamiento en el medio ambiente y su impacto potencial sobre los cuerpos receptores. Esta caracterización constituye una etapa fundamental para la selección, diseño y dimensionamiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que cada parámetro refleja procesos específicos que ocurren en el efluente (Duque-Sarango et al., 2026).

#### **a. Parámetros físicos del agua residual**

##### **Turbidez**

La turbidez mide el grado de dispersión de la luz causado por partículas en suspensión presentes en el agua residual. Valores elevados de turbidez indican altas concentraciones de sólidos suspendidos, los cuales pueden interferir en procesos de tratamiento biológico y afectar la eficiencia de unidades como humedales y filtros.(APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - *References - Scientific Research Publishing*, n.d.)

## **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de sales disueltas en el agua. En aguas residuales, este parámetro permite evaluar la mineralización del efluente y su posible impacto sobre suelos y cuerpos receptores, así como su aptitud para procesos de tratamiento natural.(Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F, 2003)

## **Conductividad compensada**

La conductividad compensada corresponde a la conductividad eléctrica corregida a una temperatura de referencia, generalmente 25 °C. Este ajuste permite comparar resultados obtenidos en diferentes condiciones térmicas, especialmente relevante en zonas de alta montaña donde la temperatura del agua presenta variaciones significativas.(*APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.). Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.*)

## **Sólidos suspendidos y disueltos**

Los sólidos suspendidos totales representan la fracción particulada presente en el agua residual, mientras que los sólidos disueltos totales corresponden a sales y compuestos disueltos. Ambos parámetros influyen en la turbidez, la sedimentación y la eficiencia de los procesos de tratamiento.(Dalglish et al., 2017)

## **Salinidad**

La salinidad expresa la concentración total de sales disueltas y está estrechamente relacionada con la conductividad eléctrica. En aguas residuales, este parámetro es relevante para

evaluar posibles efectos sobre organismos acuáticos y sobre la vegetación en sistemas de tratamiento natural.(Pitot, 1996)

## **Temperatura**

La temperatura influye directamente en la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que ocurren en el agua residual. En tratamientos biológicos, temperaturas bajas reducen la actividad microbiana, lo que debe considerarse en el diseño de sistemas en zonas altoandinas.(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014)

## **Presión**

La presión se mide principalmente para corregir lecturas de otros parámetros y evaluar condiciones ambientales durante el muestreo. En estudios de campo, este parámetro contribuye a la interpretación adecuada de resultados, especialmente en zonas de elevada altitud.(APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.)

### **b. Parámetros químicos del agua residual**

#### **pH**

El pH indica el grado de acidez o alcalinidad del agua residual y condiciona la actividad biológica y la eficiencia de los procesos de tratamiento. Valores extremos de pH pueden inhibir la actividad microbiana y afectar la calidad del efluente tratado.(APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.)

#### **Alcalinidad**

La alcalinidad representa la capacidad del agua para neutralizar ácidos y actúa como un sistema buffer frente a cambios bruscos de pH. En sistemas biológicos, una alcalinidad adecuada es esencial para mantener condiciones estables durante la degradación de la materia orgánica.(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014)

### **Potencial redox (ORP)**

El potencial de óxido-reducción indica las condiciones oxidantes o reductoras del agua residual. Este parámetro permite identificar si predominan procesos aeróbicos o anaeróbicos, información clave para la selección y evaluación de tecnologías de tratamiento biológico.(Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F, 2003)

### **Nitratos (NO<sub>3</sub>)**

Los nitratos forman parte del ciclo del nitrógeno y su presencia en aguas residuales está asociada a procesos de nitrificación. Concentraciones elevadas pueden contribuir a la eutrofización de cuerpos de agua superficiales.(Pitot, 1996)

### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, expresada como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes. Valores elevados de DQO indican una alta carga orgánica y un mayor potencial de contaminación.(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014)

### **c. Parámetros biológicos del agua residual**

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno representa la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos aerobios para degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual durante un período de cinco días a 20 °C.(*APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.). Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.*)

### **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es la concentración de oxígeno molecular presente en el agua, disponible para los organismos acuáticos y los procesos biológicos. Este parámetro refleja el equilibrio entre el aporte de oxígeno (difusión atmosférica y fotosíntesis) y su consumo por la degradación de la materia orgánica.(*APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.). Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.*)

### **Bacterias**

Las bacterias en el agua residual incluyen microorganismos patógenos y no patógenos. Para fines de evaluación sanitaria, se utilizan bacterias indicadoras, como coliformes totales y coliformes fecales, que permiten inferir la presencia de contaminación de origen fecal y el riesgo para la salud humana.(*Dalgleish et al., 2017*)

Otra clasificación relevante para el diseño es por el modo de descarga: fuentes puntuales (descarga identificable desde un establecimiento) y fuentes difusas (escorrentía que arrastra contaminantes). En el turismo rural predominan las fuentes puntuales asociadas a sistemas sanitarios deficientes, y la prioridad técnica es controlar el efluente antes de su infiltración o descarga.(*Polluted Runoff: Nonpoint Source (NPS) Pollution | US EPA, 2024*)

#### **2.2.4. Origen del Agua residual**

El origen de las aguas residuales está directamente ligado a los procesos diarios de operación del establecimiento: uso de sanitarios, preparación de alimentos, lavado de utensilios, duchas y lavandería. Cada uno de estos aportes introduce fracciones contaminantes específicas (patógenos, grasas, detergentes, sólidos), por lo que identificar el origen ayuda a definir pretratamientos como rejillas y control de grasas antes de procesos biológicos.(Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Waste Water Management System*,1998)

La variabilidad de caudal es un rasgo crítico: en turismo el caudal puede cambiar por hora, por día (fines de semana) y por temporada (vacaciones), generando condiciones de carga intermitente. Esto impacta en la selección del sistema tipo, favoreciendo tecnologías con amortiguación natural y resiliencia operacional (sedimentación + tratamiento natural), y evitando soluciones altamente mecanizadas de operación compleja.(Septic Systems (Decentralized/Onsite Systems) | US EPA, 2025)

En zonas de alta montaña, factores como temperatura baja, accesibilidad limitada, restricciones de energía y sensibilidad del receptor condicionan el enfoque de saneamiento (Duque-Sarango et al., 2019). Por ello, en áreas protegidas se priorizan alternativas de tratamiento de bajo impacto, que reduzcan carga orgánica y microbiológica sin requerir operación intensiva, integrándose al entorno y disminuyendo riesgos de falla.(*UNEP - UN Environment Programme*, 2025)

#### **2.2.5. Caracterización del agua residual**

La caracterización consiste en medir, mediante muestreo y análisis, los parámetros que describen la calidad del efluente. Técnicamente, permite determinar caudales de diseño, cargas

contaminantes y la eficiencia requerida para cumplir límites normativos. En tesis aplicadas, la caracterización se convierte en la base numérica del dimensionamiento hidráulico y del diseño conceptual del sistema de tratamiento.(Standard Methods, 2025)

El muestreo puede ser puntual (representa un instante) o compuesto (representa un periodo, combinando submuestras). En efluentes turísticos con variación horaria, el muestreo compuesto suele ser preferible para representar condiciones promedio, mientras que el puntual se utiliza para capturar escenarios críticos (picos de actividad). La elección debe justificarse según objetivo del estudio y logística.(ISO 5667-1:2020 - *Calidad Del Agua*, 2020)

La integridad de la muestra requiere conservación adecuada (temperatura, tiempo, preservantes según parámetro) y cadena de custodia, para evitar cambios en DBO, coliformes o nutrientes antes del análisis. En investigaciones de campo, medir in situ parámetros como pH y temperatura reduce incertidumbre y mejora la trazabilidad técnica.(APHA (2017) + *Guías de Muestreo*. - *Buscar Con Google*, n.d.)

#### **2.2.6. Contaminantes del agua residual**

Los contaminantes de las aguas residuales se agrupan típicamente en: sólidos (suspendidos y sedimentables), materia orgánica, nutrientes, patógenos, grasas y aceites, y en algunos casos compuestos tóxicos o traza. Esta clasificación es útil porque cada grupo se controla con procesos específicos (rejillas/sedimentación para sólidos; tratamiento biológico para orgánicos; procesos naturales o desinfección para patógenos).(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource, 2014)

La materia orgánica biodegradable se relaciona con la demanda de oxígeno y se evalúa mediante DBO5, mientras que la materia orgánica total se aproxima con DQO. La selección de

tecnologías como humedales y vermifiltros se fundamenta en la capacidad de los microorganismos para degradar esa carga orgánica, reduciendo impactos en el receptor.(Metcalf & Eddy, 2013)

Los patógenos representan el principal riesgo sanitario; por ello se emplean indicadores como E. coli o coliformes fecales para evaluar contaminación fecal. En zonas turísticas, el riesgo se amplifica por el contacto humano y por la proximidad de captaciones de agua; así, el tratamiento secundario debe considerar no solo remoción de orgánicos, sino también reducción microbiológica.(*World Health Organization (WHO)*, 2025)

Las grasas y aceites son relevantes en efluentes de restaurantes y cocinas, porque generan problemas operativos (obstrucciones, flotación, interferencia en procesos biológicos). Su control se recomienda temprano en la línea de tratamiento (pretratamiento/primario), para proteger humedales y lechos filtrantes de colmatación y pérdida de eficiencia.(*U.S. Environmental Protection Agency | US EPA*, 2025)

Finalmente, en ciertos contextos pueden aparecer contaminantes emergentes (surfactantes específicos, micro plásticos, trazas de fármacos), aunque su control en sistemas rurales se aborda principalmente mediante prevención y buenas prácticas, dado que requieren tecnologías avanzadas no siempre viables en áreas protegidas. Para una tesis aplicada, se recomienda reconocer su existencia, pero centrar el diseño en los parámetros normativos y representativos del efluente turístico local.(*UNEP - UN Environment Programme*, 2025)

### **2.3. Muestreo de agua residual**

El muestreo de agua residual constituye una etapa fundamental dentro de los estudios de saneamiento ambiental, ya que permite obtener información representativa sobre la calidad y cantidad del efluente generado. La toma de especímenes es la base técnica para la caracterización

del agua residual, el cálculo de cargas contaminantes y el diseño adecuado de los sistemas de tratamiento.

Un muestreo incorrecto puede conducir a resultados erróneos, subestimación o sobreestimación de parámetros críticos como DBO5, DQO, sólidos suspendidos y coliformes, afectando directamente el dimensionamiento y la eficiencia del sistema propuesto. (*Standard Methods*, 2025)

### **2.3.1. Tipo de muestreo**

Existen diferentes tipos de muestreo de aguas residuales, siendo los más utilizados el muestreo puntual y el muestreo compuesto. La selección del tipo de muestreo depende del objetivo del estudio, la variabilidad del caudal y las condiciones operativas del establecimiento generador.

#### **a. Muestreo Puntual**

Este consiste en la recolección de una muestra en un instante específico del tiempo. Este tipo de muestreo permite conocer el estado del efluente en un momento determinado y resulta útil para identificar condiciones críticas, como picos de carga contaminante durante horas de máxima actividad. (Metcalf y Eddy Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Recursos, 2014)

#### **b. Muestreo Compuesto**

Esta se obtiene mediante la combinación de varias submuestras recolectadas durante un período determinado, ya sea en función del tiempo o del caudal. Este tipo de muestreo proporciona una representación más fiel del comportamiento promedio del efluente, siendo especialmente recomendado en actividades turísticas donde el caudal y la carga orgánica presentan una marcada variabilidad diaria y estacional. (*ISO 5667-1:2020 - Calidad Del Agua*, 2020)

En estudios aplicados a establecimientos turísticos rurales, el muestreo compuesto es generalmente el más adecuado para el diseño de sistemas tipo de tratamiento, ya que reduce la incertidumbre asociada a variaciones temporales del efluente.

### **2.3.2. Conservación de la muestra**

La conservación de las muestras de agua residual es un aspecto crítico para garantizar la validez de los resultados analíticos. Una vez recolectada la muestra, deben aplicarse medidas que eviten alteraciones físico-químicas y microbiológicas antes del análisis de laboratorio.

Entre las principales técnicas de conservación se incluyen la refrigeración a 4 °C, el uso de frascos estériles y, cuando corresponde, la adición de preservantes químicos específicos según el parámetro a analizar. La correcta conservación permite minimizar la biodegradación de la materia orgánica y la proliferación o muerte de microorganismos. (APHA (2017) + *Guías de Muestreo*. - *Buscar Con Google*, n.d.)

Adicionalmente, es fundamental mantener una cadena de custodia, que documente el manejo de la muestra desde su recolección hasta el análisis, garantizando la trazabilidad y confiabilidad de los datos. En estudios de campo, se recomienda medir in situ parámetros como pH y temperatura, debido a su rápida variación.

### **2.4. Caudales de diseño en sistemas de tratamiento de aguas residuales**

El caudal constituye el parámetro hidráulico fundamental para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que condiciona el dimensionamiento de las unidades, el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia global del proceso. En la práctica, el caudal afluente no es constante, sino que presenta variaciones asociadas a los hábitos de uso, horarios de actividad y, en ciertos contextos, a la estacionalidad, como ocurre en zonas de carácter turístico.

Por esta razón, las guías de diseño recomiendan definir distintos caudales representativos, entre los que se incluyen el caudal promedio diario y los caudales máximos, obtenidos mediante factores de mayoración aplicados al valor medio (Asensi et al., 2019). Estos factores permiten representar condiciones críticas de operación y constituyen una medida de seguridad para evitar el sub dimensionamiento de las unidades de tratamiento. Asimismo, es habitual incorporar una proyección del caudal a un horizonte temporal definido, con el fin de garantizar la capacidad hidráulica del sistema frente a incrementos futuros en la demanda.(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource, 2014)

## **2.5.Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales comprende el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos destinados a reducir la carga contaminante del efluente hasta niveles compatibles con la normativa ambiental vigente y con la capacidad de asimilación del cuerpo receptor. Desde la ingeniería civil, el objetivo principal del tratamiento es proteger la salud pública, conservar los ecosistemas y permitir un uso sostenible del recurso hídrico.(Metcalf & Eddy, 2013)

La selección del esquema de tratamiento depende de múltiples factores, entre los que se destacan: la calidad y cantidad del agua residual, la variabilidad del caudal, las condiciones climáticas, la disponibilidad de energía, la capacidad operativa del usuario y la sensibilidad del cuerpo receptor. En zonas rurales y áreas protegidas, estos factores adquieren especial relevancia, ya que las soluciones deben ser robustas, confiables y de operación sencilla.(Ifeanyi Mirian Oyem, 1998)

En el contexto de establecimientos turísticos rurales, el tratamiento de aguas residuales suele abordarse mediante sistemas descentralizados, los cuales permiten tratar el efluente en el

sitio de generación, reduciendo costos de infraestructura y evitando descargas directas al ambiente. Estos sistemas son particularmente adecuados cuando no existe red de alcantarillado y cuando el entorno natural presenta alta sensibilidad ambiental.(*Septic Systems (Decentralized/Onsite Systems)* | *US EPA, 2025*)

Desde un enfoque técnico, el tratamiento de aguas residuales se estructura comúnmente en etapas sucesivas, cada una con una función específica dentro del proceso global de depuración. Estas etapas incluyen pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y, en ciertos casos, tratamiento terciario. La combinación y el grado de complejidad de estas etapas dependen de los objetivos de calidad del efluente.(*Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014*)

### **2.5.1. Pretratamiento**

El pretratamiento constituye la primera barrera de protección del sistema de tratamiento y tiene como finalidad principal la remoción de sólidos gruesos que puedan interferir con el funcionamiento hidráulico y mecánico de las unidades posteriores. Entre estos sólidos se incluyen restos orgánicos, plásticos, papel, trapos y otros materiales arrastrados desde sanitarios y áreas de cocina.(*Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014*)

***Figura 3. Rejillas***



***Fuente: (Rejillas de Pretratamiento de Aguas Residuales, 2018)***

Las rejillas son dispositivos de desbaste que actúan mediante la intercepción física de los sólidos de mayor tamaño. En sistemas de pequeña y mediana escala, como los establecimientos turísticos rurales, se recomiendan rejillas de limpieza manual, debido a su bajo costo, simplicidad constructiva y facilidad de operación.

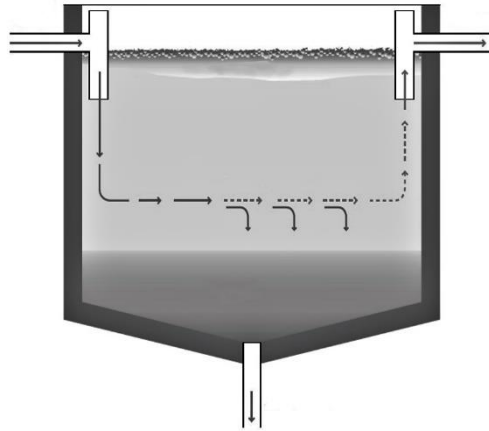
Desde el punto de vista del diseño, el espaciamiento entre barras y la velocidad del flujo deben seleccionarse de manera que se garantice la retención efectiva de sólidos sin provocar pérdidas de carga excesivas o taponamientos frecuentes.(WEF | Home, 2025)

La correcta operación y mantenimiento de las rejillas es fundamental para el desempeño del sistema. La acumulación prolongada de sólidos puede generar condiciones anaerobias, malos olores y problemas sanitarios, por lo que se requiere una limpieza periódica y una disposición adecuada del material retenido.(Spellman, 2013)

### 2.5.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario tiene como objetivo la remoción de sólidos suspendidos sedimentables y una fracción de la materia orgánica mediante procesos físicos de separación por gravedad. El sedimentador es la unidad más representativa de esta etapa y cumple un rol clave en la reducción de la carga contaminante que ingresa al tratamiento secundario.(Metcalf & Eddy, 2013)

*Figura 4. Sedimentador*



***Fuente: (Sedimentador de Pretratamiento de Aguas Residuales - Buscar Con Google, 2014)***

En el sedimentador, el agua residual se mantiene en condiciones de flujo lento durante un tiempo de retención hidráulico adecuado, permitiendo que las partículas con mayor densidad se depositen en el fondo, formando lodos primarios (Romero-Martínez et al., 2019a). De manera paralela, los materiales flotantes son retenidos en la superficie, facilitando su remoción. La eficiencia del proceso depende de variables como el caudal, la geometría del tanque, la velocidad ascensional y la temperatura del agua.(Metcalf & Eddy Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery, 2014)

La implementación de un sedimentador previo al tratamiento biológico aporta múltiples beneficios: reduce la DBO5 y los sólidos suspendidos, minimiza el riesgo de colmatación de humedales y filtros, y disminuye la producción de lodos secundarios. En sistemas rurales, esta etapa contribuye significativamente a la estabilidad operativa del conjunto.(Ifeanyi Mirian Oyem, 1998)

### **2.5.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario se orienta a la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta y coloidal, así como a la reducción de microorganismos patógenos. Para el presente estudio se propone un sistema combinado de vermifiltro y humedal artificial construido, seleccionado por su eficiencia, bajo requerimiento energético y compatibilidad con entornos naturales sensibles.(Kadlec & Wallace, 2008)

#### **Vermifiltro**

El vermifiltro es un sistema de filtración biológica que integra la acción de lombrices y microorganismos para la degradación de la materia orgánica residual. Las lombrices fragmentan los sólidos y favorecen la aireación del medio, mientras que los microorganismos asociados completan los procesos de biodegradación.(Singh et al., 2019)

***Figura 5. Vermifiltro***



***Fuente: (vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico | instituto mexicano de tecnología del agua | gobierno | gob.mx, 2013)***

Este tipo de sistema presenta una elevada eficiencia en la reducción de DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes, además de una baja producción de lodos y facilidad de operación. Su aplicación en conjunto con humedales artificiales permite un tratamiento progresivo y estable, adecuado para caudales variables característicos de la actividad turística.(Arora & Saraswat, 2021)

### **Humedal artificial**

Los humedales artificiales reproducen los procesos naturales de depuración que ocurren en ecosistemas acuáticos, utilizando un medio poroso, vegetación macrófita y comunidades microbianas. En estos sistemas se desarrollan simultáneamente procesos de sedimentación, filtración, adsorción y biodegradación de contaminantes.(Kadlec & Wallace, 2008b)

***Figura 6. Humedal artificial***



***Fuente: (Humedal Artificial - Buscar Con Google, 2014)***

La eficiencia de los humedales artificiales depende de factores como el tipo de flujo (superficial o subsuperficial), el tiempo de retención hidráulico, la granulometría del sustrato, la selección de especies vegetales y las condiciones climáticas (Romero-Martínez et al., 2019b). En zonas de alta montaña, su diseño debe contemplar temperaturas bajas y variaciones estacionales, lo que refuerza la necesidad de un adecuado pretratamiento. (Vymazal et al., 2006)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

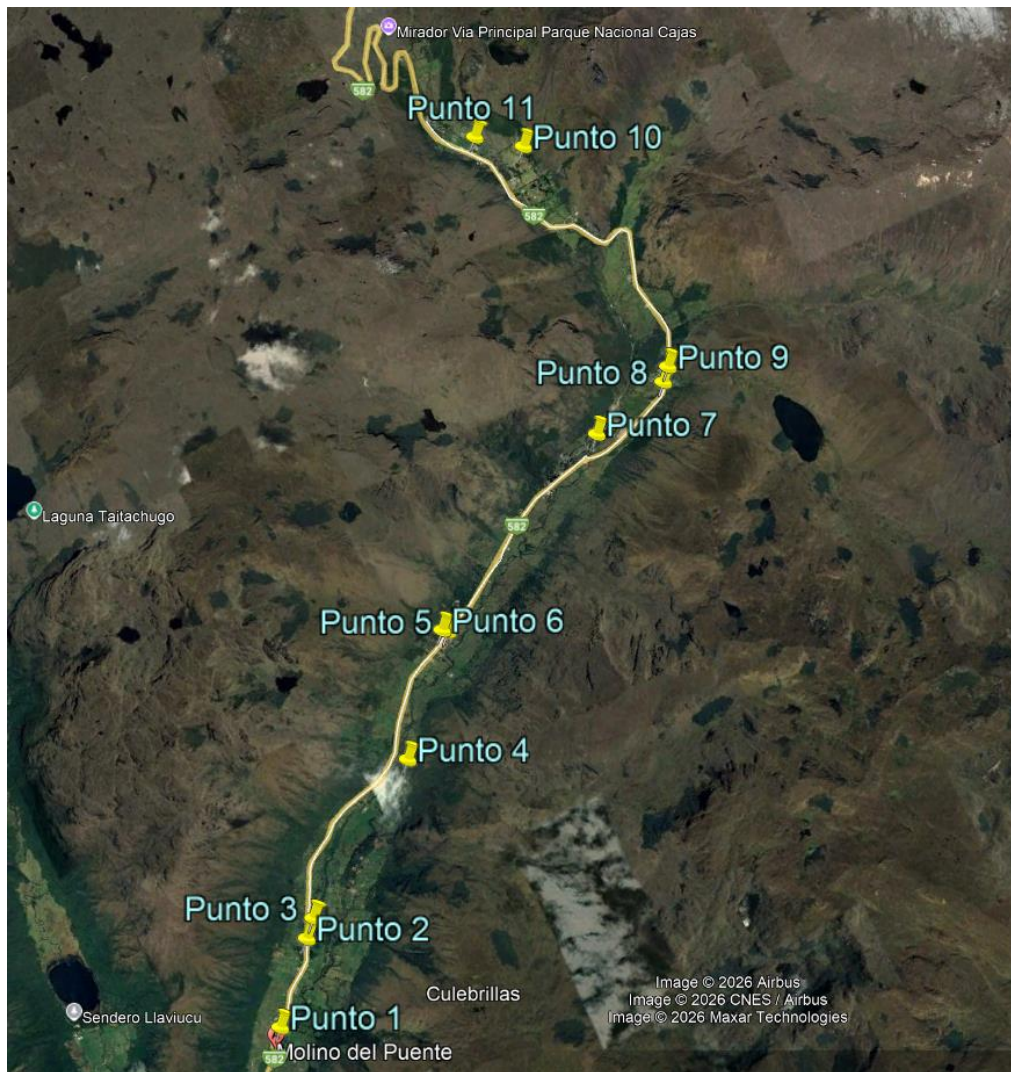
#### 3.1. Descripción del sitio de estudio

El sitio de estudio de la presente investigación corresponde a once establecimientos de alimentación, paraderos y otros ubicados dentro del área del Parque Nacional Cajas, localizado en la región andina del Ecuador, al occidente de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. El parque se caracteriza por ser un ecosistema de alta montaña, con altitudes aproximadas entre los 3000 y 4400 msnm, y por su elevada importancia ecológica e hidrológica.

El Parque Nacional Cajas alberga una extensa red de lagunas, humedales y cursos de agua superficiales que cumplen funciones esenciales en la regulación del ciclo hidrológico y en el abastecimiento de agua para poblaciones cercanas. Debido a esta condición, el área presenta una alta sensibilidad ambiental frente a la descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado.

El estudio se desarrolló específicamente en establecimientos turísticos y de servicio al visitante que operan dentro de la zona, tales como restaurantes, hosterías, centros turísticos y locales de atención al público. Estas instalaciones generan aguas residuales de manera continua como resultado de las actividades propias del turismo, principalmente asociadas al uso de servicios higiénicos, la preparación y manipulación de alimentos en cocinas, así como a las labores de limpieza y lavado de áreas comunes.

*Imagen 1. Ruta de toma de muestras (Parque Nacional Cajas)*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.2. Establecimientos evaluados y toma de muestras**

El trabajo de campo de la presente investigación se desarrolló mediante visitas directas a cada uno de los establecimientos turísticos y de servicio seleccionados dentro del área del Parque Nacional Cajas. En cada visita se realizó un recorrido por las instalaciones con el fin de identificar las actividades desarrolladas, las fuentes generadoras de aguas residuales y el sistema sanitario existente.

De manera complementaria a la toma de muestras de aguas residuales, se aplicó una encuesta técnica estructurada a los propietarios o responsables de cada establecimiento, con el objetivo de levantar información relevante sobre la generación, manejo y disposición de las aguas residuales. Esta encuesta permitió recopilar datos relacionados con el tipo de actividad turística, la infraestructura disponible, el consumo de agua, el volumen estimado de aguas residuales generadas, así como el estado y tipo de sistema de tratamiento existente.

La información obtenida a través de la encuesta sirvió como base para contextualizar los resultados de laboratorio, evaluar las condiciones reales de operación de cada establecimiento y analizar la viabilidad de implementar un sistema tipo de tratamiento de aguas residuales adaptado a las características del entorno.

Posteriormente, en cada establecimiento se identificó el punto de descarga del efluente y se procedió a la toma de muestras de agua residual bajo condiciones normales de funcionamiento. Las muestras fueron recolectadas directamente en los puntos de salida del sistema sanitario, asegurando que fueran representativas del efluente generado por las actividades turísticas y de servicio desarrolladas en cada sitio.

### **Sitio 1**

El primer establecimiento evaluado fue el restaurante el Molino del Puente donde se realizó una inspección general del lugar, identificando infraestructuras como baños, cocina y estanques piscinas que generan aguas residuales. La fuente de abastecimiento de agua utilizada es de captación propia y el sistema actual de tratamiento es un biodigestor con funcionamiento regular, ya que se evidencia contaminación visible.

*Imagen 2. Sitio 1*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 3. Toma de muestra, sitio 1*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## Sitio 2

El segundo establecimiento evaluado fue el restaurante Lllushas que consta con un pozo séptico para el manejo de aguas residuales, con un funcionamiento deficiente con visibles evidencias de contaminación que abarca el local y dos casas conjuntamente, la fuente de abastecimiento no es identificada y sus principales generadores de agua residuales viene de baños y cocinas.

*Imagen 4. Sitio 2*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 5. Toma de muestra, sitio 2*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **Sitio 3**

El tercer establecimiento evaluado es la escuela Guardiania de la Fe, en la cual se identificó servicios higiénicos, cocina, zonas de lavado como principales generadores de agua residual. El lugar de abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia y el sistema de tratamiento es un pozo séptico de funcionamiento deficiente que ha llegado a salir en ciertos periodos.

*Imagen 6. Sitio 3*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 7. Toma de muestra, sitio 3*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **Sitio 4**

El cuarto establecimiento evaluado fue la Estación piscícola Arco Iris, dedicada a actividades piscícolas. Las aguas residuales generadas provienen principalmente del uso de servicios higiénicos y áreas administrativas. El abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia y el sistema de tratamiento existente corresponde a un biodigestor, el cual se encuentra en buen estado de funcionamiento. La muestra de agua residual fue tomada en el punto de descarga del sistema identificado durante la inspección.

*Imagen 8. Sitio 4*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 9. Toma de muestra, sitio 4*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **Sitio 5**

El quinto establecimiento evaluado fue el Restaurante Las Cuevas, dedicado a la preparación y expendio de alimentos para turistas. Las aguas residuales generadas provienen principalmente de la cocina, el lavado de utensilios y el uso de servicios higiénicos. El abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia y el sistema de tratamiento corresponde a un pozo séptico, el cual se encuentra en buen estado de funcionamiento.

***Imagen 10. Sitio 5***



***Elaborado por: Panza, Rivera 2026***

***Imagen 11. Toma de muestra, sitio 5***



***Elaborado por: Panza, Rivera 2026***

## Sitio 6

El sexto establecimiento evaluado fue las Cabañas del Pescador, el cual opera como restaurante y cafetería. Las aguas residuales generadas provienen principalmente de la preparación de alimentos, lavado y uso de servicios higiénicos. El agua utilizada es de captación propia y el sistema de tratamiento corresponde a un pozo séptico en buen estado de funcionamiento.

*Imagen 12. Sitio 6*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 13. Toma de muestra, sitio 6*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **Sitio 7**

El séptimo establecimiento evaluado fue Dos Chorreras la cual corresponde a una hostería que recibe visitantes de manera regular. Las aguas residuales generadas provienen principalmente del uso de servicios higiénicos y de actividades de limpieza asociadas al alojamiento. El abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia. El sistema de tratamiento existente está conformado por un pozo séptico seguido de un humedal, los cuales se encuentran en condiciones adecuadas de funcionamiento.

***Imagen 14. Sitio 7***



***Elaborado por: Panza, Rivera 2026***

***Imagen 15. Toma de muestra, sitio 7***



***Elaborado por: Panza, Rivera 2026***

## Sitio 8

El octavo establecimiento evaluado fue La Pradera, teniendo como actividad principal un restaurante en donde se identificaron como principales generadores de aguas residuales los servicios higiénicos y el área de la cocina. La fuente de abastecimiento de agua corresponde a captación propia. El sistema de tratamiento existente es un pozo séptico, el cual presenta un funcionamiento aceptable, sin evidencias visibles de contaminación al momento de la inspección.

*Imagen 16. Sitio 8*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 17. Toma de muestra, sitio 8*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **Sitio 9**

El noveno establecimiento evaluado corresponde a la Iglesia y Centro Turístico, en el cual la generación de aguas residuales está asociada casi exclusivamente al uso de servicios higiénicos por parte de los visitantes. El abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia y el sistema de tratamiento identificado es un biodigestor, el cual se encuentra en buen estado de funcionamiento, sin evidencias visibles de afectación ambiental.

*Imagen 18. Sitio 9*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 19. Toma de muestra, sitio 9*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **Sitio 10**

El décimo establecimiento evaluado fue el Restaurante Don Guevara, donde las aguas residuales se generan principalmente por las actividades de cocina, lavandería y el uso de servicios higiénicos. El abastecimiento de agua se realiza mediante captación propia. El sistema de tratamiento está conformado por un pozo séptico y un biodigestor, los cuales presentan un funcionamiento regular.

*Imagen 20. Sitio 10*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 21. Toma de muestra, sitio 10*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **Sitio 11**

Finalmente se evaluó la Estancia San Juan la cual presenta una generación de aguas residuales vinculada principalmente a la atención turística, concentrándose en el uso de servicios higiénicos y actividades generales de mantenimiento del establecimiento. El suministro de agua se realiza mediante captación propia. El sistema de tratamiento está conformado por un pozo séptico complementado con un biodigestor, cuyo desempeño fue identificado como regular.

*Imagen 22. Sitio 11*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Imagen 23. Toma de muestra, sitio 11*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3. Medición in situ de condiciones ambientales y ensayos complementarios realizados en laboratorio**

#### **3.3.1. Toma de muestras de aguas residuales**

El muestreo realizado correspondió a un muestreo puntual (instantáneo), efectuado directamente en el punto de descarga de aguas residuales identificado en cada establecimiento, el cual fue representativo de las condiciones reales del efluente al momento de la recolección.

#### **Equipo:**

- Cooler

#### **Materiales:**

- Frascos de muestreo de vidrio color ámbar, previamente esterilizados
- Frascos plásticos de polietileno para análisis fisicoquímicos
- Guantes de nitrilo
- Conservadora térmica con hielo
- Etiquetas impermeables y marcador indeleble
- Sonda multiparamétrica portátil
- Formatos de registro de campo

#### **Método:**

- NTE INEN 2169:2013 – Agua. Calidad del agua. Muestreo

#### **Procedimiento:**

Previo a la recolección de las muestras, se seleccionaron los puntos de muestreo, procurando que estos sean representativos del flujo de aguas residuales generadas por el establecimiento. Utilizando el equipo de protección personal, principalmente mascarillas y guantes de nitrilo, para evitar la contaminación de la muestra y garantizar la seguridad durante el proceso.

***Imagen 24. Toma de muestras de agua residual***



***Elaborado por: Panza, Rivera 2026***

Los frascos de muestreo fueron enjuagados previamente con la misma muestra, los cuales se mantuvieron estériles. Posteriormente, se procedió a la recolección de la muestra, introduciendo el frasco en sentido contrario al flujo del agua, evitando la inclusión de sedimentos del fondo, grasas superficiales o burbujas de aire.

Una vez recolectada la muestra, los frascos fueron cerrados herméticamente, etiquetados adecuadamente indicando el código de muestra, fecha, hora, punto de muestreo y responsable de la toma. Las muestras fueron colocadas inmediatamente en una conservadora térmica a una temperatura aproximada de 4 °C para su preservación.

*Imagen 25. Conservación de agua residual*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.2. Prevención y transporte de muestras**

#### **Método:**

- NTE INEN 2169:2013 – Agua. Calidad del agua. Muestreo

#### **Procedimiento:**

Una vez recolectadas, las muestras de aguas residuales fueron preservadas de acuerdo con el tipo de análisis a realizar, con el fin de minimizar alteraciones físicas, químicas y biológicas antes de su procesamiento en laboratorio. Los frascos de muestreo fueron cerrados de manera hermética y se colocó de manera inmediata en un tiempo máximo de 5 horas desde su recolección en una conservadora térmica con hielo, manteniendo una temperatura aproximada de 4° C, conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 2169. Durante el transporte, se evitó la exposición directa a la luz solar, golpes o vibraciones excesivas que se pudieran modificar sus características.

### **3.3.3. Control de calidad**

#### **Método:**

- NTE INEN 2169:2013 – Agua. Calidad del agua. Muestreo

#### **Procedimiento:**

Con la finalidad de garantizar la confiabilidad de los resultados, se implantaron medidas de control de calidad durante las etapas de muestreo, preservación, transporte y análisis de las muestras. Previo a las mediciones, los equipos utilizados, como la sonda multiparamétrica, fotómetro, y turbidímetro, fueron calibrados según estándares certificados y siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Durante el muestreo se garantizaron frascos limpios y esterilizados, guantes de nitrilo para evitar contaminaciones cruzadas. En el laboratorio se realizaron los análisis respetando los tiempos de reacción, condiciones de temperatura, asimismo se verificó el correcto funcionamiento de los equipos. Estas acciones aseguraron la calidad, precisión y validez de los datos obtenidos para la caracterización de las aguas residuales.

### **3.3.4. Medición de nitrito rango alto**

#### **Equipo:**

- Fotómetro multiparámetro

#### **Reactivos y materiales:**

- Reactivo para nitrato HI 93728-0 (1 sobre por ensayo)
- Sets de reactivos:

-HI 93728-01 (100 pruebas)

-HI 93728-03 (300 pruebas)

**Método:**

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> E (método de reducción con cadmio, adaptado).

**Procedimiento:**

- 1) Seleccionar en el equipo el método Nitrato.
- 2) Llenar una cubeta con 10 mL de muestra sin reaccionar.
- 3) Colocar la cubeta en el equipo y presionar Zero para realizar el blanco.
- 4) Retirar la cubeta y agregar 1 sobre del reactivo HI 93728-0.
- 5) Tapar y agitar vigorosamente durante 10 segundos.
- 6) Invertir suavemente la cubeta durante 50 segundos, evitando la formación de burbujas.
- 7) Colocar la cubeta nuevamente en el equipo.
- 8) Presionar Timer y esperar 4 minutos y 30 segundos.
- 9) Finalizado el tiempo, el equipo realiza la lectura automáticamente.
- 10) Registrar el resultado en mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N.
- 11) Si es necesario, convertir el resultado a mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> mediante la función Chem Frm.

*Imagen 26. Medición de nitrito rango alto*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.5. Medición de nitrato**

#### **Equipo:**

- Fotómetro multiparámetro

#### **Reactivos y materiales:**

- Reactivo para nitrato HI 93728-0 (1 sobre por ensayo).
- Sets de reactivos:
  - HI 93728-01 (100 pruebas)
  - HI 93728-03 (300 pruebas)

#### **Método:**

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> E (método de reducción con cadmio, adaptado).

## Procedimiento:

- 1) Seleccionar en el equipo el método Nitrato.
- 2) Llenar una cubeta con 10 mL de muestra sin reaccionar.
- 3) Colocar la cubeta en el equipo y presionar Zero para realizar el blanco.
- 4) Retirar la cubeta y agregar 1 sobre del reactivo HI 93728-0.
- 5) Tapar y agitar vigorosamente durante 10 segundos.
- 6) Invertir suavemente la cubeta durante 50 segundos, evitando la formación de burbujas.
- 7) Colocar la cubeta nuevamente en el equipo.
- 8) Presionar Timer y esperar 4 minutos y 30 segundos.
- 9) Finalizado el tiempo, el equipo realiza la lectura automáticamente.
- 10) Registrar el resultado en mg/L de  $\text{NO}_3^-$ -N.
- 11) Si es necesario, convertir el resultado a mg/L de  $\text{NO}_3^-$  mediante la función Chem Frm.

*Imagen 27. Medición de nitrato*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.6. Medición de turbidez**

#### **Equipo:**

- Turbidímetro

#### **Reactivos y materiales:**

- Cubetas de vidrio o plástico óptico específicas para turbidez.
- Paño sin pelusa para limpieza de cubetas.
- No requiere reactivos químicos para la medición.

#### **Método:**

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 2130 B – Turbidez (método nefelométrico).

#### **Procedimiento:**

- 1) Calibrar el turbidímetro con los estándares de turbidez según indicaciones del fabricante.
- 2) Homogeneizar la muestra suavemente, evitando la formación de burbujas.
- 3) Llenar la cubeta hasta la marca indicada y limpiar su superficie externa.
- 4) Colocar la cubeta en el turbidímetro y cerrar la tapa.
- 5) Presionar el botón Read / Measure y esperar la estabilización de la lectura.
- 6) Registrar el valor obtenido en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

*Imagen 28. Medición de turbidez*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### 3.3.7. Medición de alcalinidad

#### **Equipo:**

- Fotómetro multiparámetro

#### **Reactivos y materiales:**

- Reactivos para alcalinidad
- Celdas de medición
- Agua destilada

#### **Método:**

- Standard Methods, método 2320 B – Alcalinidad total (adaptado colorimétrico).

## Procedimiento:

- 1) Seleccionar el método Alcalinidad en el equipo.
- 2) Llenar la cubeta con 10 mL de muestra sin reaccionar.
- 3) Colocar la cubeta en el equipo y presionar Zero.
- 4) Retirar la cubeta.
- 5) Si hay presencia de cloro, agregar 1 gota del reactivo HI 93755-53.
- 6) Añadir 1 mL del reactivo HI 775S usando una jeringa.
- 7) Tapar la cubeta e invertir 5 veces para homogeneizar.
- 8) Colocar la cubeta en el equipo.
- 9) Presionar Read para iniciar la lectura.
- 10) Registrar el resultado en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

*Imagen 29. Medición de alcalinidad*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### 3.3.8. Medición de conductividad eléctrica

#### Equipo:

- Sonda multiparamétrica portátil

#### Método:

- APHA 2510 B.

#### Procedimiento:

La conductividad eléctrica fue medida in situ utilizando una sonda multiparamétrica portátil. Previo a la medición, el equipo fue calibrado siguiendo las respectivas especificaciones del fabricante.

En primera instancia limpiamos con agua destilada el cabezal de sensores, sumergimos en el punto de muestreo y el valor fue registrado una vez alcanzada la estabilidad de la lectura, expresándose en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

*Imagen 30. Medición de conductividad eléctrica*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.9. Medición de conductividad compensada**

#### **Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

#### **Método:**

- APHA 2510 E.

#### **Procedimiento:**

La medición se realizó simultáneamente con la conductividad eléctrica, aplicando la compensación automática por temperatura incorporada en la sonda. El valor fue registrado una vez estabilizada la lectura.

*Imagen 31. Medición de conductividad compensada*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.10. Medición de salinidad**

**Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 2520 B

**Procedimiento:**

Se determino directamente por los sensores integrados en la sonda, una vez sumergido el cabezal en la muestra esperamos la estabilizada la lectura en PSU.

### **3.3.11. Medición de potencial redox**

**Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 2580 B.

**Procedimiento:**

El electrodo redox del cabezal de sensores fue sumergido en la muestra, evitando la presencia de burbujas. Se espero la estabilización del potencial y se registró el valor en milivoltios (mV).

*Imagen 32. Medición de salinidad*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.12. Medición de potencial de hidrogeno (pH)**

**Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 4500-H+ B.

**Procedimiento:**

Sumergimos el sensor de pH en la zona de muestra y esperamos la estabilización de la lectura antes de registrar su valor.

### **3.3.13. Medición de saturación de oxígeno disuelto**

**Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 4500-O G.

**Procedimiento:**

El cabezal con el sensor de oxígeno disuelto fue sumergido completamente en la muestra. Se espero la estabilización de la lectura y se registraron simultáneamente la saturación de oxígeno disuelto en %.

**3.3.14. Medición de oxígeno disuelto****Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 4500-O G.

**Procedimiento:**

El cabezal con el sensor de oxígeno disuelto fue sumergido completamente en la muestra. Se espero la estabilización de la lectura y se registraron simultáneamente la concentración de oxígeno disuelto en mg/L.

**3.3.15. Medición de temperatura****Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 250 B.

**Procedimiento:**

La temperatura fue registrada automáticamente por los sensores integrados de la sonda una vez estabilizada la lectura durante la medición in situ.

*Imagen 33. Medición de temperatura*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**3.3.16. Medición de presión**

**Equipo:**

- Sonda multiparamétrica portátil

**Método:**

- APHA 250 B.

## **Procedimiento:**

La presión se registró automáticamente por los sensores integrados de la sonda una vez estabilizada la lectura durante la medición in situ.

*Imagen 34. Medición de presión*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.3.17. Medición de demanda química de oxígeno (DQO)**

#### **Equipo:**

- Fotómetro multiparámetro con función DQO (COD)
- Reactor térmico para digestión de DQO (150 °C)
- Micropipeta o jeringa graduada de 2 mL
- Termómetro (verificación del reactor)
- Cronómetro
- Pinzas térmicas para viales
- Gradilla para tubos de digestión

### **Reactivos y materiales:**

- Reactivos pre dosificados para DQO (Hanna Instruments HI93754B-25)
- Agua destilada o desionizada (para el blanco)
- Viales de digestión DQO con tapa hermética
- Paños o papel sin pelusa

### **Método:**

- Método colorimétrico de dicromato, conforme a Standard Methods 5220 D / EPA 410.4.

### **Procedimiento:**

#### **1) Preparación de la muestra**

- Homogeneizar la muestra de agua residual.
- En caso de valores elevados, realizar la dilución correspondiente.
- No filtrar la muestra, salvo que la normativa lo exija.

#### **2) Preparación del blanco**

- Tomar un vial de reactivo DQO HI93754B-25.
- Añadir 2,0 mL de agua destilada o desionizada.
- Cerrar el vial y mezclar suavemente.

#### **3) Preparación de la muestra**

- Tomar un vial de reactivo DQO HI93754B-25.
- Añadir 2,0 mL de muestra de agua residual.

- Cerrar el vial y agitar suavemente para homogeneizar, evitando la formación de burbujas.

*Imagen 35. Preparación de muestra (DQO)*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4) Digestión**

- Colocar los viales (muestras y blanco) en el reactor térmico.
- Someter a digestión a 150 °C durante 2 horas.
- Finalizado el tiempo, retirar cuidadosamente los viales.

#### **5) Enfriamiento**

- Dejar enfriar los viales a temperatura ambiente.
- Permitir un reposo de 5 a 10 minutos antes de la lectura.
- Verificar que no existan burbujas ni residuos adheridos a las paredes.

#### **6) Medición**

- Limpiar exteriormente los viales con un paño sin pelusa.
- Encender el fotómetro y seleccionar el método DQO.
- Colocar el vial blanco y poner el equipo en cero.
- Introducir el vial de la muestra y realizar la lectura.
- Registrar el resultado.

### **3.3.18. Medición de sólidos suspendidos totales**

#### **Equipo:**

- Estufa u horno de secado con control de temperatura (103–105 °C)
- Balanza analítica (sensibilidad 0,1 mg)
- Sistema de filtración al vacío
- Bomba de vacío
- Pinzas metálicas
- Soporte para filtros
- Vasos de precipitación
- Probeta graduada
- Frasco lavador con agua destilada

#### **Reactivos y materiales:**

- Agua destilada
- Filtros de fibra de vidrio
- Cápsulas
- Guantes

- Mascarilla
- Muestra de agua residual

**Método:**

- Método gravimétrico por filtración y secado. APHA 2540 D – Sólidos Suspendidos Totales.

**Procedimiento:**

**1) Preparación del filtro**

- Colocar el filtro en el sistema de filtración.
- Lavar con tres porciones de agua destilada ( $\approx 20$  mL cada una).
- Retirar el filtro con pinzas.
- Secar en horno a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 1 h.
- Enfriar en desecador 20–30 min.
- Pesar y registrar el peso del filtro ( $P_1$ ).

**2) Filtración de la muestra**

- Agitar suavemente la muestra para homogeneizar.
- Medir un volumen conocido ( $V$ , en mL; común: 50 o 100 mL).
- Filtrar la muestra al vacío.

*Imagen 36. Medición de solidos suspendidos totales*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### 3) Lavado

- Lavar el residuo retenido con 10–20 mL de agua destilada para eliminar sólidos disueltos.

### 4) Secado

- Secar el filtro con residuo en horno a 105 °C durante 12–15 h.

*Imagen 37. Filtro con residuos*



**5) Enfriamiento y pesaje**

- Enfriar en desecador 20–30 min.
- Pesar el filtro con sólidos (P<sub>2</sub>).

**6) Peso constante**

- Repetir secado y pesada hasta diferencia  $\leq 0,5$  mg.

**3.3.19. Medición de sólidos disueltos totales**

**Equipo:**

- Estufa de secado (180 °C)
- Balanza analítica (0,1 mg)
- Desecador
- Sistema de filtración
- Cápsulas de porcelana o vidrio
- Pinzas metálicas

**Reactivos y materiales:**

- Agua destilada
- Filtro de fibra de vidrio (mismo usado para SST)
- Cápsulas de evaporación
- Probeta
- Guantes
- Mascarilla

## Método:

- Método gravimétrico por filtración y secado. APHA 2540 C – Sólidos Disueltos Totales.

## Procedimiento:

### 1) Preparación de la cápsula

- Lavar la cápsula.
- Secar en horno a 180 °C durante 1 h.
- Enfriar en desecador.
- Pesar y registrar ( $P_3$ ).

*Imagen 38. Medición de sólidos disueltos totales*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### 2) Obtención del filtrado

- Usar el filtrado obtenido del ensayo de SST.

### **3) Evaporación**

- Medir un volumen conocido del filtrado (V, mL).

- Transferir a la cápsula.

### **4) Secado**

- Secar en horno a 180 °C durante 12–15 h.

### **5) Enfriamiento y pesada**

- Enfriar en desecador.
- Pesar cápsula con residuo (P<sub>4</sub>).

### **6) Peso constante**

- Repetir secado hasta diferencia  $\leq 0,5$  mg.

### **3.3.20. Medición de sólidos totales**

#### **Equipo:**

- Estufa de secado (103–105 °C)
- Balanza analítica
- Desecador
- Cápsulas
- Probeta

#### **Reactivos y materiales:**

- Agua destilada

- Cápsulas de evaporación
- Pinzas
- Guantes
- Mascarilla

**Método:**

- Método gravimétrico evaporación directa de la muestra. APHA 2540 B – Sólidos Totales.

**Procedimiento:**

**1) Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Se determina la concentración de sólidos suspendidos totales de la muestra mediante el método gravimétrico por filtración y secado, conforme al método APHA 2540 D, secando el residuo retenido en el filtro a 105 °C hasta peso constante. El resultado se expresa en mg/L.

**2) Determinación de Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

A partir del filtrado obtenido en el ensayo de SST, se determina la concentración de sólidos disueltos totales mediante el método gravimétrico por evaporación y secado, conforme al método APHA 2540 C, secando el residuo a 180 °C hasta peso constante. El resultado se expresa en mg/L.

**3) Cálculo de Sólidos Totales (ST)**

La concentración de sólidos totales se obtiene mediante la suma aritmética de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos totales determinados previamente.

### **3.3.21. Medición E. coli**

#### **Equipo:**

- Incubadora / horno bacteriológico (35–37 °C)
- Cámara de flujo laminar o mesa limpia
- Micropipeta (1 mL)
- Pipetas estériles desechables
- Contador de colonias
- Termómetro
- Cronómetro

#### **Reactivos y materiales:**

- Placas Petrifilm 3M E. coli / Coliformes
- Alcohol al 70 % (desinfección)
- Agua destilada
- Tubos estériles (10 o 15 mL)
- Tubos Falcon estériles
- Guantes
- Mascarilla
- Marcador indeleble
- Papel absorbente

*Imagen 39. Materiales y placas petrifilm*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Método:**

- Método 9223 B – E. coli por medios definidos (equivalente a Petrifilm)- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

**Procedimiento:**

**1) Preparación**

- Desinfectar la mesa de trabajo.
- Colocarse guantes y mascarilla.
- Rotular las placas (muestra, dilución, fecha).

**2) Diluciones**

**Dilución  $10^{-1}$**

- En un tubo estéril, colocar 9 mL de agua destilada estéril.
- Añadir 1 mL de agua residual.
- Mezclar bien.

### **Dilución $10^{-2}$**

- En otro tubo estéril:
- Colocar 9 mL de agua destilada estéril.
- Añadir 1 mL de la dilución  $10^{-1}$ .
- Mezclar.

### **3) Siembra en placa Petrifilm**

- Levantar la lámina superior de la placa.
- Colocar 1 mL de la dilución ( $10^{-1}$  o  $10^{-2}$ ).
- Cerrar la placa.
- Presionar suavemente para distribuir el líquido.
- Dejar gelificar 1 minuto.

### **4) Incubación**

- Colocar las placas invertidas en la incubadora.

**Tabla 2.** *Temperatura y tiempo de muestras e. Coli*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Temperatura	<b>37° C</b>
Tiempo	<b>24 horas</b>

**Elaborado por:** *Panza, Rivera 2026*

**5) Lectura y conteo**

**a) E. coli**

- Colonias azules o violeta
- Con o sin burbuja → SÍ se cuentan

**b) Coliformes totales**

- Colonias rojas con burbuja

**c) No contar:**

- Rojas sin burbuja
- Burbujas solas
- Manchas difusas

*Imagen 40. Medición e. Colí*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **3.4. Estimación del caudal de diseño**

La determinación del caudal de aguas residuales se realizó a partir de un enfoque combinado de inventario de contribuyentes y ajustes por variabilidad operativa, considerando el carácter turístico del área de estudio. En primer lugar, se identificaron los establecimientos generadores y sus características operativas (tipo de actividad y presencia de fuentes internas como servicios higiénicos, cocina o áreas de lavado). Con esta información se consolidaron los aportes diarios estimados y se obtuvo el caudal promedio diario del sistema como base de operación.

Posteriormente, se incorporó un factor de corrección por picos de demanda, con el fin de representar condiciones de mayor afluencia asociadas a temporadas o incrementos temporales de usuarios. Esta decisión se sustenta en la recomendación de utilizar factores de mayoración para representar máximos diarios u horarios, ya que los sistemas de saneamiento presentan fluctuaciones significativas y el diseño debe contemplar escenarios críticos para evitar sobrecarga hidráulica.

Finalmente, con el objetivo de garantizar capacidad a mediano plazo, se aplicó una proyección a 10 años sobre el caudal corregido, obteniéndose el caudal proyectado, el cual fue adoptado como caudal de diseño para el dimensionamiento hidráulico de las unidades (rejillas, sedimentador, vermifiltro y humedal).

### **3.5.Pretratamiento**

#### **3.5.1. Rejillas**

El pretratamiento mediante rejillas fue considerado como la primera etapa del sistema de tratamiento, debido a la presencia de sólidos gruesos observados durante las inspecciones de campo y a las características propias de aguas residuales de origen turístico (servicios higiénicos, cocina y limpieza). La función principal de las rejillas es retener materiales de gran tamaño (plásticos, fibras, residuos orgánicos y otros sólidos) que pueden provocar obstrucciones o afectar el desempeño de las unidades posteriores.

De forma general, el dimensionamiento de rejillas se realiza a partir del caudal de diseño (Q), seleccionando una separación entre barras acorde al tamaño de sólidos a retener (rejilla gruesa o fina) y verificando que la velocidad de aproximación permita el paso del flujo sin arrastre excesivo ni colmatación. En términos prácticos, se define el área útil de paso y se verifica la pérdida de carga admisible, además de establecer criterios operativos como accesibilidad para limpieza manual, frecuencia de retiro y disposición de residuos. Estas consideraciones permiten un sistema simple, robusto y adecuado para contextos rurales.

### **3.6.Tratamiento primario**

#### **3.6.1. Sedimentador**

Como tratamiento primario se propuso un sedimentador, cuyo objetivo es remover sólidos suspendidos sedimentables y reducir parcialmente la carga orgánica. Esta etapa se justifica por los resultados de ensayos como sólidos suspendidos totales (SST) y DQO, que evidencian la presencia de partículas capaces de separarse por gravedad, disminuyendo la carga que ingresa al tratamiento secundario.

El dimensionamiento preliminar de un sedimentador se basa en:

- Caudal de diseño (Q), considerando variaciones por afluencia turística.
- Tiempo de retención hidráulica (TRH), que define el volumen requerido ( $V = Q \cdot TRH$ ).
- Tasa de carga superficial o velocidad ascensional, utilizada para estimar el área del sedimentador ( $A = Q / \text{tasa superficial}$ ).
- Verificación de condiciones de operación para minimizar re suspensión de sólidos y permitir extracción de lodos.

De manera general, esta unidad se plantea con geometría y operación sencillas, orientadas a facilitar mantenimiento y retiro periódico de lodos en sistemas descentralizados.

### **3.7.Tratamiento secundario**

Para el tratamiento secundario se seleccionó un sistema combinado de un vermifiltro y humedal artificial, considerando que las tecnologías basadas en procesos naturales son apropiadas para zonas rurales y áreas ambientalmente sensibles. Su objetivo principal es remover materia orgánica biodegradable, sólidos remanentes, nutrientes y reducir la carga microbiológica del efluente.

### **3.7.1. Vermifiltro**

El vermifiltro se incorpora por su eficiencia en la remoción de materia orgánica y su baja demanda energética. Su dimensionamiento preliminar se realiza considerando:

- Caudal de entrada y variabilidad diaria.
- Carga orgánica (relacionada a DBO/DQO).
- Tasa de aplicación hidráulica o carga volumétrica sobre el lecho.
- Espesor y composición de capas filtrantes, así como condiciones de aireación y drenaje.

De manera general, se define un área o volumen del vermifiltro que permita el contacto adecuado del efluente con el medio filtrante y la biomasa, garantizando un tiempo de contacto suficiente y evitando colmatación.

### **3.7.2. Humedal artificial**

El humedal artificial se seleccionó por su capacidad de tratamiento bajo condiciones de operación variables y por su compatibilidad con climas fríos. De forma general, su dimensionamiento se realiza considerando:

- Caudal de diseño (Q).
- Carga orgánica aplicada (estimada a partir de DQO/DBO o concentración equivalente).
- Tiempo de retención hidráulica (TRH) y/o carga hidráulica (relación entre caudal y área).
- Parámetros de diseño del medio filtrante (profundidad, porosidad efectiva) y configuración del flujo (superficial o subsuperficial).

En términos conceptuales, el área del humedal se estima a partir del caudal y la carga a remover, definiendo una superficie suficiente para que ocurran procesos de filtración, adsorción y degradación microbológica.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Datos In situ

Los datos in situ corresponden a los parámetros físicos y fisicoquímicos medidos directamente en campo durante las campañas de muestreo realizadas en los once puntos de descarga de aguas residuales. Estas mediciones se efectuaron mediante el uso de un equipo multiparamétrico portátil, permitiendo registrar las condiciones reales del efluente al momento del muestreo y evitando alteraciones asociadas al transporte y almacenamiento de las muestras.

Los parámetros evaluados in situ incluyeron temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, conductividad compensada, sólidos disueltos totales, salinidad, potencial redox (ORP), oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y presión atmosférica. Los resultados obtenidos se presentan como valores promedio de tres monitoreos consecutivos por punto de muestreo.

##### 4.1.1. Temperatura °C

La temperatura del agua residual se mantuvo en un rango aproximado de 10 y 14, valores característicos del entorno donde se realizó el estudio, estas condiciones térmicas influyen directamente en la cinética de los procesos biológicos, reduciendo la velocidad de degradación de la materia orgánica.

(Metcalf y Eddy Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Recursos, 2014)

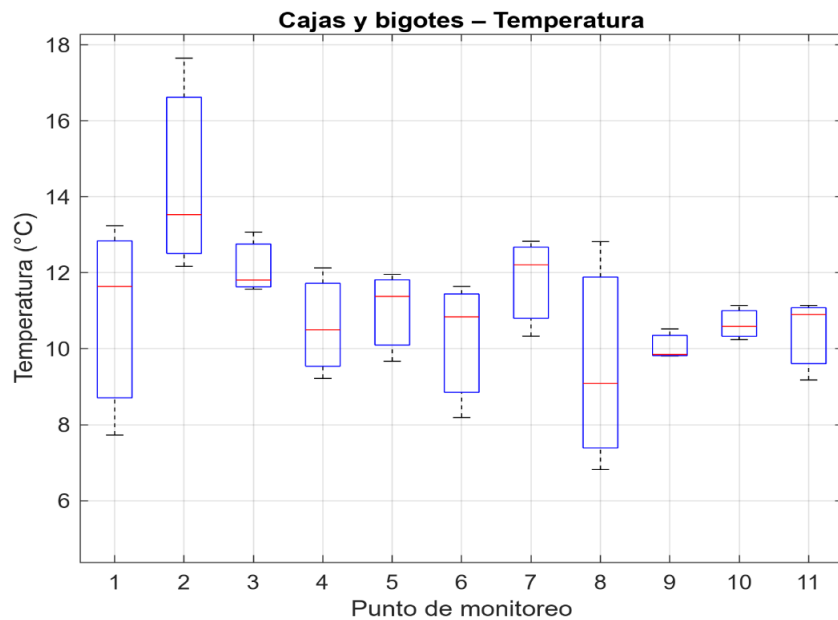
Los resultados son coherentes con la ubicación geográfica del área de estudio y refuerzan la necesidad de seleccionar tecnologías de tratamiento adaptadas a bajas temperaturas.

**Tabla 3. Caracterización de temperatura (°C)**

Temperatura (°C)				
Puntos	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Promedio
1	13.24	11.64	7.73	<b>11</b>
2	13.53	12.17	17.65	<b>14</b>
3	13.07	11.81	11.571	<b>12</b>
4	10.5	12.13	9.22	<b>11</b>
5	11.38	11.96	9.67	<b>11</b>
6	10.84	11.64	8.19	<b>10</b>
7	12.83	12.21	10.33	<b>12</b>
8	9.09	12.82	6.82	<b>10</b>
9	9.81	10.52	9.85	<b>10</b>
10	11.14	10.24	10.59	<b>11</b>
11	10.9	11.14	9.18	<b>10</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 7. Diagrama de cajas y bigotes, Temperatura**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.1.2. Potencial de hidrógeno (pH)

Los valores promedio de pH se mantuvieron mayoritariamente entre 6 y 9, mostrando un comportamiento estable y cercano a la neutralidad. Estos resultados son coherentes con aguas residuales domésticas y asimilables a domésticas, y confirman la ausencia de descargas industriales con carácter ácido o alcalino. Desde el punto de vista normativo, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido para descargas de efluentes, lo que favorece la aplicación de tratamientos biológicos sin requerir correcciones químicas adicionales.

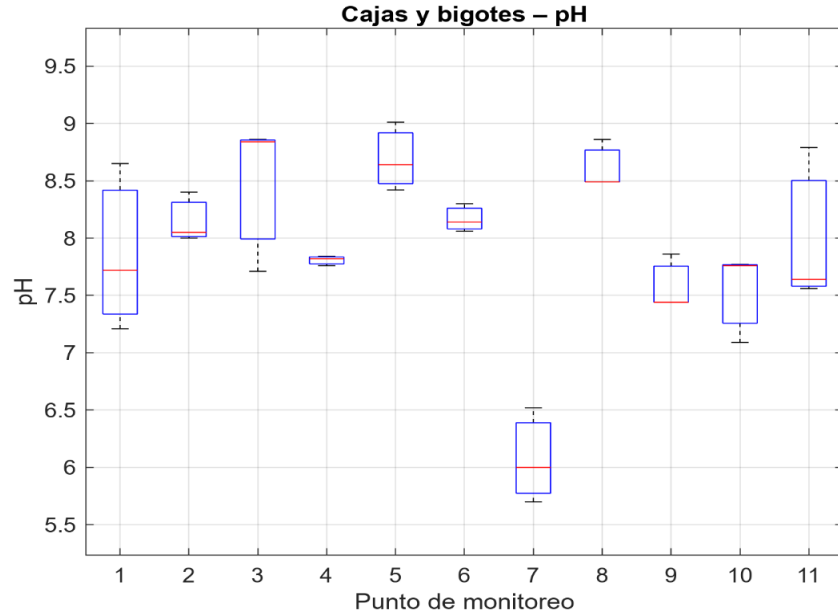
(APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - *References - Scientific Research Publishing*, n.d.)

**Tabla 4.** Caracterización de pH (UpH)

pH (UpH)				
Puntos	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Promedio
1	8.65	7.72	7.21	<b>8</b>
2	8.4	8	8.05	<b>8</b>
3	7.71	8.84	8.86	<b>8</b>
4	7.82	7.84	7.76	<b>8</b>
5	8.64	9.01	8.42	<b>9</b>
6	8.14	8.06	8.3	<b>8</b>
7	6	5.7	6.52	<b>6</b>
8	8.86	8.49	8.49	<b>8</b>
9	7.44	7.44	7.86	<b>8</b>
10	7.77	7.09	7.76	<b>8</b>
11	7.56	7.64	8.79	<b>8</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 8. Diagrama de cajas y bigotes, pH**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4.1.3. Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

Los valores de conductividad eléctrica obtenidos presentan promedios entre 214 y 2337  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que ubica a las muestras dentro del rango típico reportado para aguas residuales domésticas medidas directamente en el foco contaminante. Estudios similares indican que las aguas residuales domésticas suelen presentar conductividades comprendidas aproximadamente entre 500 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dependiendo del grado de concentración, la presencia de detergentes, sales disueltas y el tiempo de retención previo a la descarga (Romero-Martínez et al., 2019c). En este sentido, los valores más altos registrados en algunos puntos del estudio reflejan una mayor carga iónica, mientras que los valores bajos pueden asociarse a condiciones de dilución puntual o a menor aporte de compuestos disueltos. (Metcalf & Eddy, 2013)

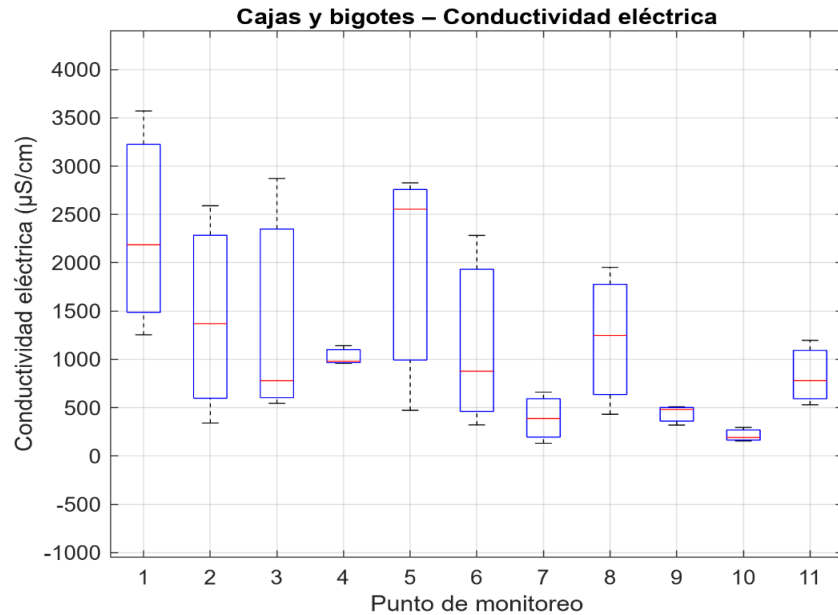
En comparación con cuerpos de agua naturales del Parque Nacional Cajas, donde la conductividad suele ser baja debido a la escasa mineralización del entorno altoandino, los valores obtenidos evidencian claramente el carácter residual del agua analizada. Desde el punto de vista normativo, la legislación ambiental ecuatoriana no establece límites máximos permisibles específicos para la conductividad eléctrica en descargas de aguas residuales; sin embargo, este parámetro se utiliza como indicador indirecto de contaminación, ya que conductividades elevadas están asociadas a altas concentraciones de sólidos disueltos totales. Bajo este criterio, los resultados se consideran moderados a altos para un entorno natural sensible, aunque compatibles con valores reportados en aguas residuales domésticas sin tratamiento, lo que respalda la necesidad de un sistema de tratamiento previo a la descarga. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA , 1992)

**Tabla 5. Caracterización de Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )**

<b>Conductividad eléctrica (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	1254	2186	3571	<b>2337</b>
2	341	1369	2591	<b>1434</b>
3	2872	545	780	<b>1399</b>
4	980	961	1142	<b>1028</b>
5	2555	473	2827	<b>1952</b>
6	878	322	2284	<b>1161</b>
7	388	132	661	<b>394</b>
8	1247	432	1953	<b>1210</b>
9	320	482	509	<b>437</b>
10	156	191	296	<b>214</b>
11	530	781	1197	<b>836</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 9.** Diagrama de cajas y bigotes, Conductividad eléctrica



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4.1.4. Conductividad compensada ( $\mu\text{S/cm}$ )**

Los valores de conductividad eléctrica compensada obtenidos mediante sonda multiparamétrica, comprendidos entre 156 y 1948  $\mu\text{S/cm}$ , se encuentran dentro de los rangos reportados en estudios sobre aguas residuales domésticas sin tratamiento. Manuales clásicos de ingeniería sanitaria, como los utilizados para el diseño y operación de sistemas de tratamiento, describen que las aguas residuales domésticas suelen presentar conductividades entre 500 y 3000  $\mu\text{S/cm}$ , dependiendo del grado de concentración y del tiempo de retención en el foco contaminante. De manera similar, investigaciones desarrolladas en comunidades rurales de la región andina y zonas periurbanas de América Latina han reportado valores de conductividad superiores a 2000  $\mu\text{S/cm}$  en aguas residuales medidas directamente en el punto de generación, asociándolos a una elevada carga de sólidos disueltos y compuestos iónicos. (Seminario, 2019)

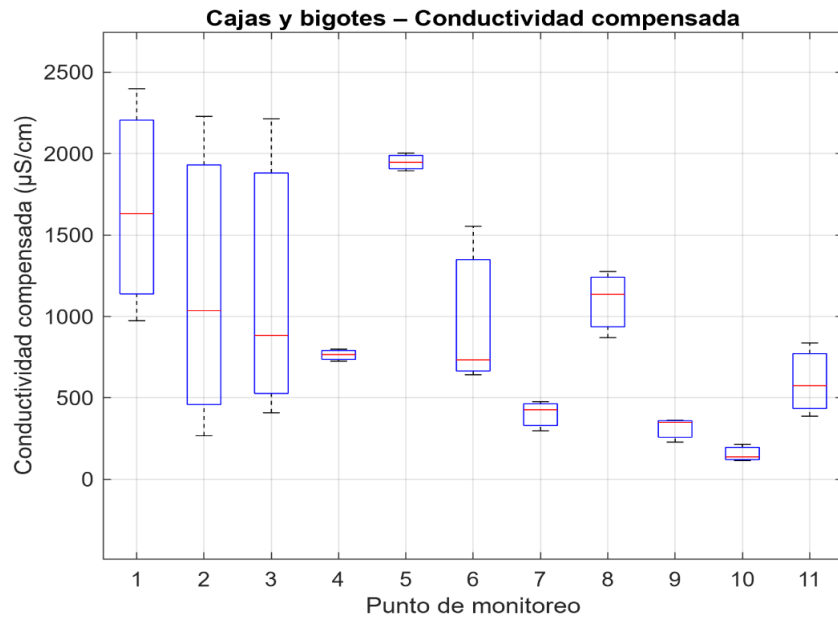
En contraste, estudios realizados en cuerpos de agua naturales de alta montaña, como lagunas y ríos altoandinos, reportan conductividades considerablemente más bajas debido a la escasa mineralización del entorno. Esta diferencia confirma que los valores obtenidos en el presente estudio responden al carácter residual del agua analizada y no a condiciones naturales del Parque Nacional Cajas. Si bien la normativa ambiental ecuatoriana no establece límites máximos permisibles específicos para la conductividad eléctrica en descargas de aguas residuales, este parámetro es ampliamente utilizado como un indicador indirecto de contaminación. Bajo este criterio, los valores registrados pueden considerarse moderados a altos para un ecosistema ambientalmente sensible, lo que refuerza la necesidad de un tratamiento previo antes de cualquier descarga al medio natural. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA , 1992)

**Tabla 6.** Caracterización de Conductividad compensada ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

<b>Conductividad compensada (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	974	1631	2398	<b>1668</b>
2	267	1035	2229	<b>1177</b>
3	2214	408	883	<b>1168</b>
4	766	726	799	<b>764</b>
5	1894	1947	2003	<b>1948</b>
6	642	733	1554	<b>976</b>
7	298	427	476	<b>400</b>
8	870	1136	1276	<b>1094</b>
9	228	349	363	<b>313</b>
10	115	137	215	<b>156</b>
11	388	575	837	<b>600</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 10.** Diagrama de cajas y bigotes, Conductividad compensada



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.1.5. Salinidad (PSU)

Los valores de salinidad promedio se mantuvieron entre 0.1 PSU y 1.4 PSU, lo que indica una salinidad baja a moderada. Estos resultados son característicos de aguas residuales domésticas y confirman la ausencia de aportes salinos anómalos o descargas industriales. (APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing, n.d.)

La variación observada entre los tres monitoreos en varios puntos confirma que la salinidad del agua residual no es constante, sino que depende del régimen de descarga y del tiempo de retención del efluente en el foco contaminante. En algunos puntos, el incremento progresivo de la salinidad entre monitoreos evidencia procesos de concentración asociados a la acumulación de sólidos disueltos, mientras que en otros se observa una disminución relativa, lo que puede

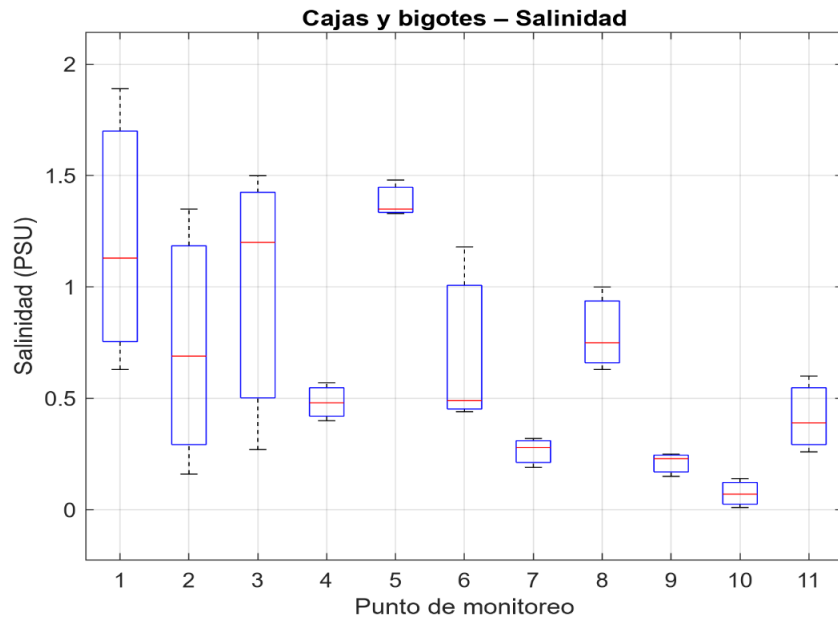
responder a aportes intermitentes de menor concentración o a eventos de renovación parcial del efluente.

**Tabla 7.** Caracterización de Salinidad (PSU)

Salinidad (PSU)				
Puntos	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Promedio
1	0.63	1.13	1.89	<b>1.2</b>
2	0.16	0.69	1.35	<b>0.7</b>
3	1.5	0.27	1.2	<b>1.0</b>
4	0.40	0.48	0.57	<b>0.5</b>
5	1.33	1.35	1.48	<b>1.4</b>
6	0.44	0.49	1.18	<b>0.7</b>
7	0.19	0.28	0.32	<b>0.3</b>
8	0.63	0.75	1	<b>0.8</b>
9	0.15	0.23	0.25	<b>0.2</b>
10	0.07	0.01	0.14	<b>0.1</b>
11	0.26	0.39	0.6	<b>0.4</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 11.** Diagrama de cajas y bigotes, Salinidad



#### **4.1.6. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) obtenidos mediante el método gravimétrico presentan promedios comprendidos entre 43 y 103 mg/L, con valores máximos puntuales de hasta 150 mg/L. Al tratarse de muestras tomadas directamente en el foco contaminante, estos resultados reflejan la fracción particulada real del agua residual antes de cualquier proceso de dilución o tratamiento. En comparación con rangos reportados en la literatura, donde las aguas residuales crudas suelen presentar concentraciones de SST del orden de 150 a 350 mg/L, los valores obtenidos se ubican en un rango bajo a moderado, lo que sugiere la presencia de procesos de sedimentación o retención previa de sólidos dentro del propio foco contaminante. (Standard Methods, 2023)

La variabilidad observada entre monitoreos, especialmente el incremento de SST en determinados puntos durante el tercer monitoreo, es coherente con el comportamiento típico de los sólidos suspendidos en sistemas no regulados, donde la resuspensión de material sedimentado y los cambios en el régimen de descarga generan fluctuaciones significativas. Aunque los valores promedio en la mayoría de los puntos se mantienen cercanos o por debajo de 100 mg/L, la presencia de picos superiores a este valor indica que el efluente no presenta una concentración estable de sólidos, lo cual es relevante para el diseño de unidades de pretratamiento y para la evaluación del impacto potencial del efluente. (Understanding Laboratory Wastewater Tests: II. Solids (TS, TSS, TDS, TVS, TFS) | CAES Field Report, 2014)

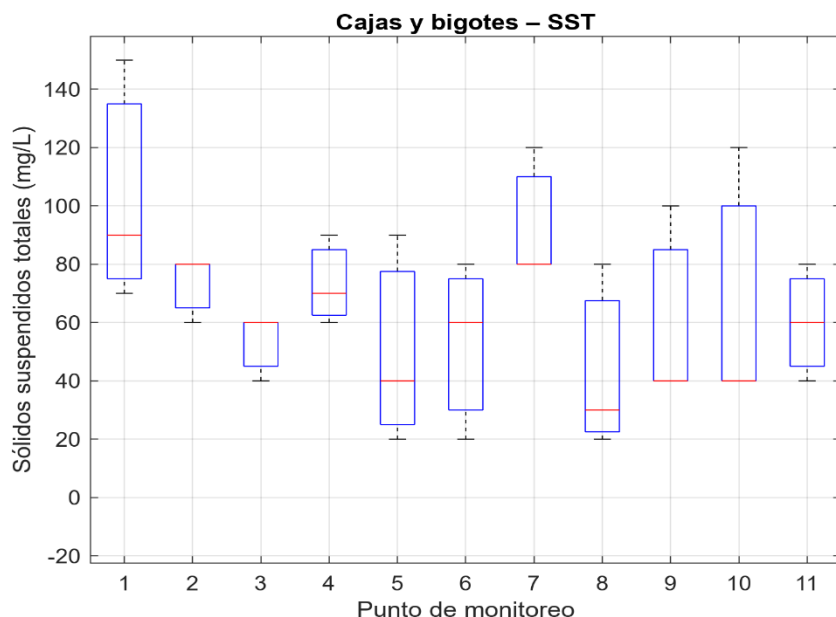
Desde el punto de vista normativo, la legislación ambiental ecuatoriana establece un límite máximo permisible de 100 mg/L para SST en descargas a cuerpos de agua dulce. Bajo este criterio, los resultados promedio se encuentran en general dentro o muy próximos al límite, aunque algunas mediciones individuales superan el valor permitido. Esta condición evidencia que, si bien la carga de sólidos suspendidos no es elevada en términos generales, existe riesgo de incumplimiento en condiciones de mayor arrastre, lo que justifica la incorporación de mecanismos de remoción de sólidos en el sistema de tratamiento. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA , 1992)

**Tabla 8.** Caracterización de Sólidos suspendidos totales (mg/L)

<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	70	90	150	<b>103</b>
2	80	60	80	<b>73</b>
3	60	40	60	<b>53</b>
4	70	60	90	<b>73</b>
5	40	20	90	<b>50</b>
6	60	20	80	<b>53</b>
7	80	80	120	<b>93</b>
8	30	20	80	<b>43</b>
9	40	40	100	<b>60</b>
10	40	40	120	<b>67</b>
11	80	60	40	<b>60</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 12.** Diagrama de cajas y bigotes, Sólidos suspendidos totales



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.1.7. Sólidos disueltos totales (SDT)

Los valores de sólidos disueltos totales (SDT) determinados mediante el método gravimétrico presentan promedios que varían ampliamente entre los puntos de muestreo, desde 57 690 mg/L hasta 503 087 mg/L, evidenciando una carga extremadamente alta de material disuelto en el agua residual analizada. Esta magnitud supera ampliamente los valores comúnmente reportados para aguas residuales continentales, incluso aquellas caracterizadas por alta concentración y retención previa en el foco contaminante. La elevada dispersión entre puntos y monitoreos indica que la composición del efluente es altamente variable y que existen focos con una acumulación significativa de sales y compuestos disueltos. (Metcalf & Eddy, 2013)

La variabilidad temporal observada entre monitoreos, con incrementos marcados en algunos puntos durante el segundo y tercer monitoreo, sugiere procesos de concentración por

retención prolongada, evaporación parcial y acumulación de solutos en el foco contaminante. Al tratarse de muestras tomadas directamente en el punto de generación, sin dilución ni tratamiento previo, los valores obtenidos reflejan condiciones críticas del efluente, donde la fracción disuelta domina claramente sobre la fracción suspendida. Esta relación es coherente con los resultados de conductividad eléctrica y salinidad previamente analizados, los cuales también evidencian una elevada carga iónica del agua residual.

Desde el punto de vista normativo, la legislación ambiental ecuatoriana establece para descargas a cuerpos de agua dulce un límite máximo permisible de 1 000 mg/L para sólidos disueltos totales. Bajo este criterio, la totalidad de los valores obtenidos excede ampliamente el límite permitido, lo que confirma que el efluente caracterizado no es compatible con una descarga directa al medio natural. En este contexto, el uso del método gravimétrico otorga robustez a los resultados, ya que permite cuantificar de manera directa la masa real de sólidos disueltos presentes en el agua residual. Los resultados obtenidos ponen en evidencia la necesidad de un sistema de tratamiento capaz de manejar efluentes con altísima carga de sólidos disueltos, y refuerzan la importancia de considerar estos valores como un escenario crítico para el diseño y evaluación del sistema propuesto. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA , 1992)

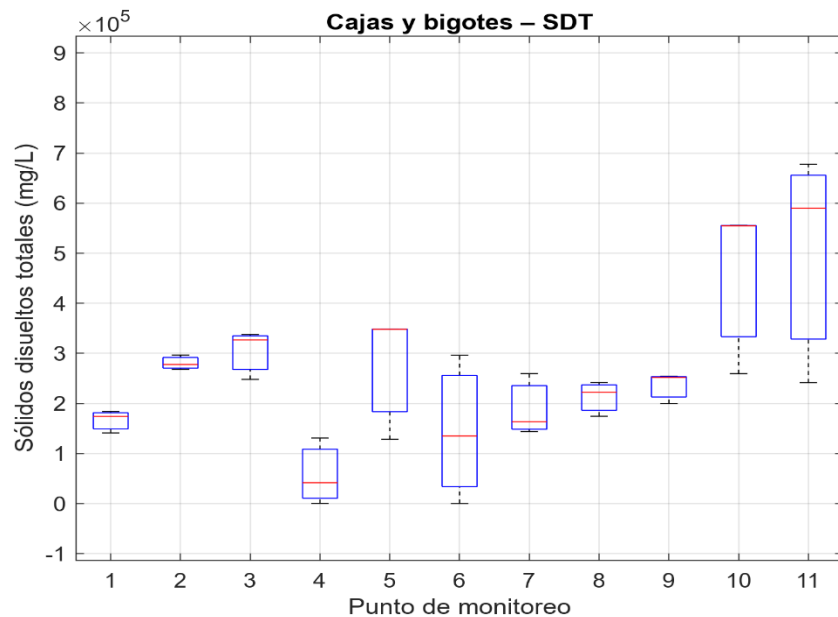
**Tabla 9.** Caracterización de Sólidos disueltos totales (mg/L)

<b>Sólidos disueltos totales (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	141000	174100	183760	<b>166287</b>
2	268000	296480	277900	<b>280793</b>
3	248000	326860	337840	<b>304233</b>
4	131000	400	41670	<b>57690</b>
5	348020	348780	128530	<b>275110</b>
6	296300	200	135000	<b>143833</b>

7	163340	259840	143680	<b>188953</b>
8	174260	241860	222420	<b>212847</b>
9	200000	251780	254200	<b>235327</b>
10	259640	555800	554660	<b>456700</b>
11	241600	589820	677840	<b>503087</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 13.** Diagrama de cajas y bigotes, Sólidos disueltos totales



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.1.8. Sólidos totales (ST)

Los valores de sólidos totales (ST) determinados mediante el método gravimétrico presentan promedios que varían entre 57 763 mg/L y 503 147 mg/L, evidenciando una carga extremadamente elevada de material sólido total en el agua residual caracterizada. La magnitud de estos valores indica que la fracción sólida del efluente está dominada ampliamente por sólidos disueltos, lo cual se confirma al comparar los resultados de ST con los de SDT, observándose que los SST representan una proporción relativamente baja del total. Este comportamiento es típico de

aguas residuales medidas directamente en el foco contaminante, donde la retención y concentración de solutos incrementa significativamente la fracción disuelta.

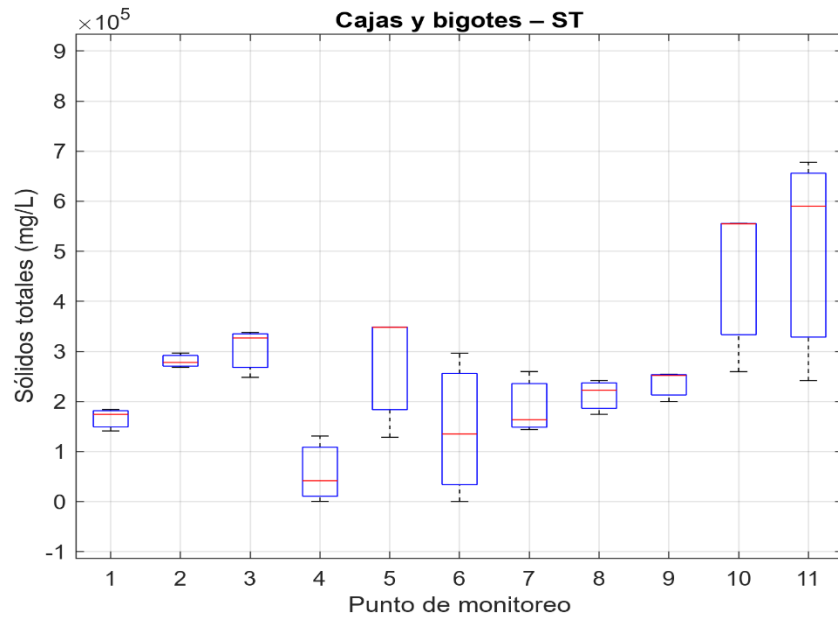
La variabilidad observada entre puntos y monitoreos refleja diferencias en el grado de concentración del efluente y en la dinámica interna de los focos contaminantes. En particular, los incrementos marcados de ST en determinados puntos durante el segundo y tercer monitoreo sugieren procesos de acumulación progresiva de sólidos disueltos, mientras que los valores más bajos responden a focos con menor concentración o a episodios de renovación parcial del efluente. La coherencia entre los valores de ST, SDT y conductividad eléctrica refuerza la interpretación de una alta carga iónica y mineral del agua residual analizada.

**Tabla 10.** Caracterización de Sólidos totales (mg/L)

<b>Sólidos totales (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	141070	174190	183910	<b>166390</b>
2	268080	296540	277980	<b>280867</b>
3	248060	326900	337900	<b>304287</b>
4	131070	460	41760	<b>57763</b>
5	348060	348800	128620	<b>275160</b>
6	296360	220	135080	<b>143887</b>
7	163420	259920	143800	<b>189047</b>
8	174290	241880	222500	<b>212890</b>
9	200040	251820	254250	<b>235370</b>
10	259680	555820	554720	<b>456740</b>
11	241680	589880	677880	<b>503147</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 14. Diagrama de cajas y bigotes, Sólidos totales**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4.1.9. Oxígeno disuelto (mg/L)**

Los valores de oxígeno disuelto (OD) obtenidos en los puntos de muestreo presentan una marcada variabilidad, con promedios que oscilan entre 4 y 15 mg/L. En la mayoría de los puntos, los valores promedio se concentran entre 4 y 5 mg/L, lo cual es característico de aguas residuales medidas directamente en el foco contaminante, donde la presencia de materia orgánica biodegradable consume rápidamente el oxígeno disponible. Estos valores indican condiciones limitadas de oxigenación, compatibles con procesos de degradación biológica activa y con una elevada demanda de oxígeno por parte del efluente.

No obstante, en algunos puntos y monitoreos se registran valores notablemente altos de OD, alcanzando concentraciones superiores a 20 mg/L. Estos valores se consideran atípicos para aguas residuales concentradas y pueden estar asociados a condiciones puntuales de medición, como una aireación accidental del agua, presencia de burbujas durante la medición con la sonda, mezcla momentánea con agua menos cargada o procesos de oxigenación local. La coexistencia de valores bajos y muy altos en un mismo

punto a lo largo de los monitoreos evidencia que el oxígeno disuelto no presenta un comportamiento estable, sino que responde a condiciones instantáneas del efluente y del entorno de medición.

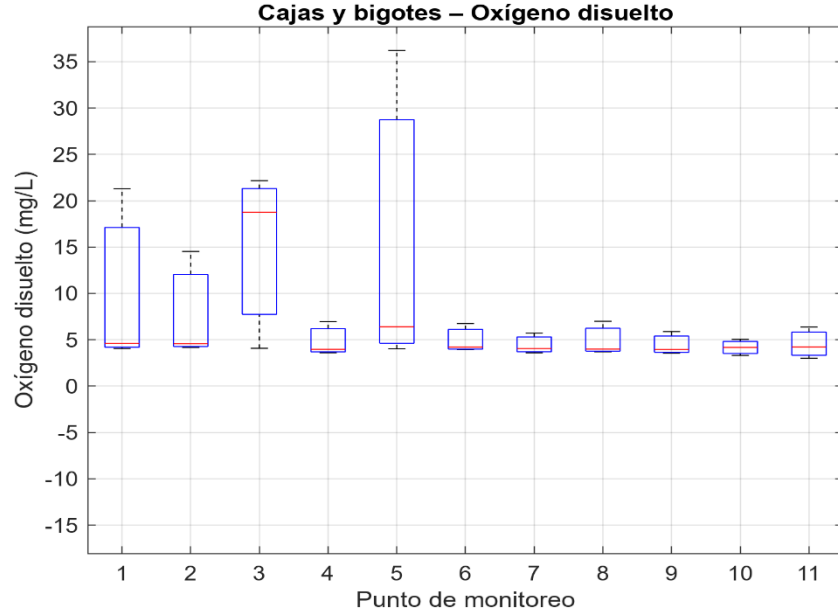
Desde el punto de vista normativo y de calidad ambiental, los cuerpos de agua dulce suelen requerir concentraciones mínimas de 5 mg/L de OD para sostener vida acuática, mientras que las aguas residuales crudas presentan típicamente valores inferiores debido al consumo de oxígeno por la materia orgánica. Bajo este criterio, los valores promedio cercanos a 4–5 mg/L confirman el carácter residual del agua analizada y evidencian condiciones poco favorables para una descarga directa al medio natural. En conjunto, los resultados indican que el efluente presenta una alta actividad bioquímica, lo que refuerza la necesidad de procesos de tratamiento que permitan estabilizar la carga orgánica y mejorar las condiciones de oxigenación antes de cualquier vertido.

**Tabla 11.** Caracterización de Oxígeno disuelto (mg/L)

<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	21.28	4.05	4.62	<b>10</b>
2	14.53	4.17	4.58	<b>8</b>
3	22.16	4.08	18.75	<b>15</b>
4	3.6	3.97	6.95	<b>5</b>
5	3.62	4.03	6.41	<b>5</b>
6	3.93	4.21	6.75	<b>5</b>
7	3.59	4.05	5.72	<b>4</b>
8	3.7	4	6.99	<b>5</b>
9	3.55	3.95	5.88	<b>4</b>
10	3.31	4.17	5.04	<b>4</b>
11	3.02	4.23	6.37	<b>5</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 15.** Diagrama de cajas y bigotes, Oxígeno disuelto



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4.1.10. Saturación de oxígeno disuelto (%OD)**

Los valores de saturación de oxígeno disuelto presentan una alta variabilidad, con promedios que oscilan entre 48 % y 159 %, y valores puntuales que superan el 200 %. En la mayoría de los puntos, los promedios se concentran alrededor de 50–60 %, lo que es consistente con aguas residuales medidas directamente en el foco contaminante, donde la presencia de materia orgánica genera un consumo continuo de oxígeno. Estos valores reflejan condiciones de oxigenación limitada, típicas de efluentes con actividad bioquímica activa.

Sin embargo, la presencia de valores extremadamente altos de OD% en algunos monitoreos indica sobresaturación puntual, la cual no representa una condición estable del efluente. Este comportamiento se asocia a condiciones instantáneas de medición, como aireación accidental, presencia de burbujas o interferencias del sensor de la sonda multiparamétrica, especialmente

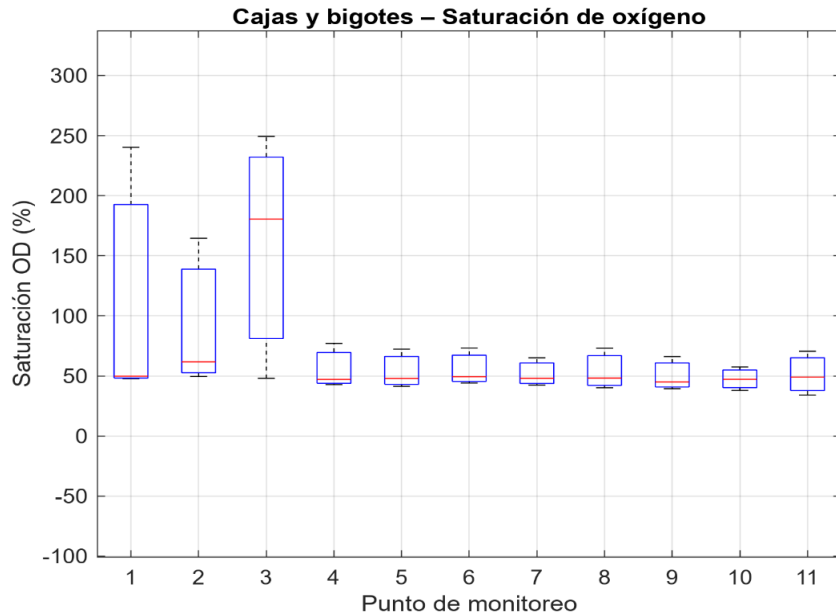
considerando la influencia conjunta de temperatura y presión atmosférica. En conjunto, los resultados evidencian un efluente heterogéneo y dinámico, por lo que la interpretación debe centrarse en los valores promedio y en la tendencia general, más que en los picos aislados.

**Tabla 12.** Caracterización de saturación de oxígeno disuelto (OD%)

<b>Saturación de oxígeno disuelto (OD%)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	240.3	47.7	49.8	<b>113</b>
2	164.6	49.6	61.7	<b>107</b>
3	249.4	48	180.6	<b>159</b>
4	42.8	47.1	77	<b>56</b>
5	41.3	47.9	72.3	<b>60</b>
6	44.1	49.3	73.2	<b>56</b>
7	42.3	48	65.1	<b>52</b>
8	40.1	48.2	73.1	<b>54</b>
9	39.4	45	66.1	<b>50</b>
10	37.9	47.2	57.5	<b>48</b>
11	34.1	49	70.5	<b>51</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 16.** Diagrama de cajas y bigotes, Saturación



#### **4.1.11. Potencial redox (ORP)**

Los valores de potencial redox registrados presentan promedios que varían aproximadamente entre  $-86$  mV y  $+59$  mV, evidenciando condiciones predominantemente reductoras en la mayoría de los puntos de muestreo. La presencia de valores negativos de ORP es consistente con aguas residuales medidas directamente en el foco contaminante, donde la elevada carga orgánica y la limitada disponibilidad de oxígeno favorecen procesos de reducción. Estos resultados indican un ambiente químico poco oxidante, característico de efluentes con actividad biológica significativa y consumo continuo de oxígeno.

No obstante, en algunos puntos se observan valores positivos de ORP, lo que refleja condiciones más oxidantes de manera puntual. Esta variabilidad sugiere que el efluente no presenta un estado redox uniforme, sino que responde a cambios instantáneos en la oxigenación, mezcla o renovación parcial del agua residual dentro del foco contaminante. En conjunto, el predominio de valores negativos confirma que el sistema opera mayoritariamente bajo condiciones reductoras, coherentes con los bajos valores de oxígeno disuelto previamente analizados, y refuerza la interpretación de un efluente químicamente inestable que requiere procesos de tratamiento para su adecuada estabilización.

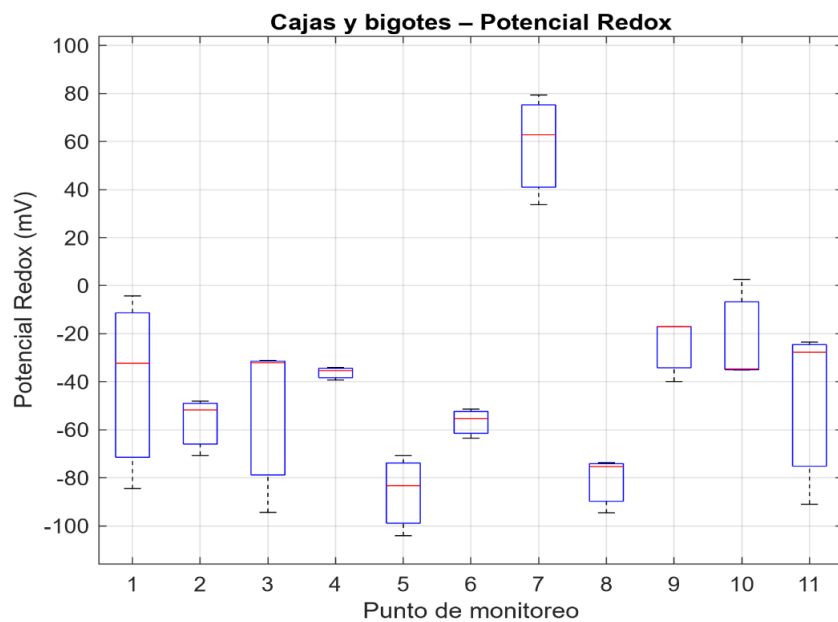
***Tabla 13. Caracterización de Potencial Redox (mV).***

<b>Potencial Redox (mV)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	-84.5	-32.3	-4.3	<b>-40</b>
2	-70.7	-48.1	-51.7	<b>-57</b>
3	-32.1	-94.4	-31.2	<b>-53</b>
4	-35.4	-39.3	-34.1	<b>-36</b>
5	-83.3	-104.1	-70.7	<b>-86</b>

6	-55.4	-51.4	-63.5	<b>-57</b>
7	62.8	79.4	33.7	<b>59</b>
8	-94.6	-75.3	-73.7	<b>-81</b>
9	-17.1	-17	-39.9	<b>-25</b>
10	-35.1	2.6	-34.7	<b>-22</b>
11	-23.5	-27.7	-91	<b>-47</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 17.** Diagrama de cajas y bigotes, Potencial Redox



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.1.12. Presión atmosférica (psi)

Los valores de presión registrados en los once puntos de muestreo presentan una alta estabilidad, con promedios cercanos a 12 psi en todos los puntos y mínimas variaciones entre los tres monitoreos. Esta consistencia indica que las mediciones se realizaron bajo condiciones atmosféricas homogéneas, sin cambios significativos de presión que pudieran influir en la

respuesta de los sensores de la sonda multiparamétrica. La uniformidad de los valores sugiere que el parámetro presión se mantuvo constante durante el trabajo de campo.

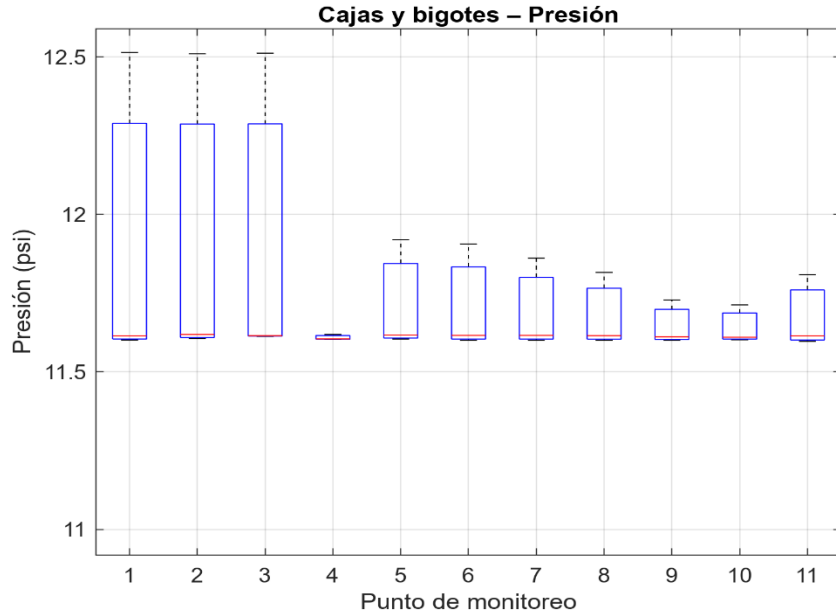
Desde el punto de vista metodológico, el registro estable de la presión es relevante como parámetro de control instrumental, especialmente para la correcta medición del oxígeno disuelto y su saturación, los cuales dependen directamente de la presión atmosférica (Montalvo-Ochoa et al., 2020). En este sentido, los resultados confirman que las variaciones observadas en otros parámetros fisicoquímicos no están asociadas a cambios de presión durante el muestreo, sino a las características propias del efluente analizado, reforzando la confiabilidad de las mediciones realizadas.

**Tabla 14.** Caracterización de presión (psi)

<b>Puntos</b>	<b>Presión (psi)</b>			<b>Promedio</b>
	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	
1	12.514	11.614	11.601	<b>12</b>
2	12.51	11.619	11.606	<b>12</b>
3	12.512	11.613	11.615	<b>12</b>
4	11.605	11.619	11.603	<b>12</b>
5	11.92	11.617	11.604	<b>12</b>
6	11.906	11.616	11.600	<b>12</b>
7	11.861	11.616	11.600	<b>12</b>
8	11.816	11.615	11.600	<b>12</b>
9	11.728	11.611	11.600	<b>12</b>
10	11.713	11.61	11.602	<b>12</b>
11	11.809	11.614	11.597	<b>12</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 18.** Diagrama de cajas y bigotes, Presión



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## **4.2. Caracterización físico-química del agua residual**

La caracterización físico-química del agua residual se realizó a partir de los resultados obtenidos en laboratorio para los once puntos de muestreo, considerando los valores promedio de tres monitoreos consecutivos. Estos resultados permiten evaluar la carga contaminante del efluente y analizar su comportamiento frente a los procesos de tratamiento propuestos.

### **4.2.1. Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ )**

Los resultados obtenidos para el nitrito muestran fluctuaciones marcadas en los valores registrados, con promedios que se sitúan entre 7 y 60 mg/L y registros puntuales que alcanzan hasta 153 mg/L. Este patrón evidencia una acumulación intermitente de nitrito dentro del foco contaminante, lo que indica que el nitrógeno se encuentra mayoritariamente en una etapa intermedia de transformación, sin que los procesos de conversión se desarrollen de manera

continua o completa. La presencia de valores elevados en determinados puntos sugiere episodios de retención y liberación de compuestos nitrogenados, propios de sistemas con condiciones fisicoquímicas cambiantes.

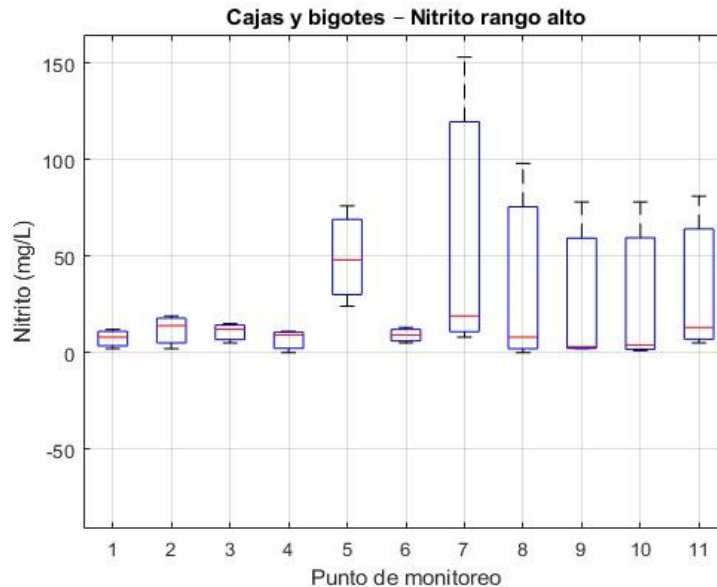
Las diferencias observadas entre los distintos monitoreos pueden atribuirse, en parte, a que las campañas de muestreo se realizaron en fechas diferentes, lo cual implica variaciones en la carga del efluente asociadas a cambios en la intensidad de uso de las instalaciones. Estas variaciones temporales influyen directamente en el aporte de nitrógeno y en la dinámica de transformación del nitrito, generando incrementos o disminuciones en los valores medidos. En conjunto, los resultados reflejan un sistema con procesos de transformación del nitrógeno no estabilizados, coherentes con las condiciones de oxígeno disuelto limitado y potencial redox mayormente reductor observadas en el estudio, lo que refuerza la necesidad de un tratamiento que permita regular dichas condiciones y evitar la acumulación de formas nitrogenadas intermedias.

**Tabla 15.** Caracterización de Nitrito rango alto

<b>Nitrito Rango Alto (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	12	8	2	<b>7</b>
2	14	2	19	<b>12</b>
3	15	5	12	<b>11</b>
4	11	9	0	<b>7</b>
5	24	76	48	<b>49</b>
6	5	9	13	<b>9</b>
7	8	19	153	<b>60</b>
8	98	8	0	<b>35</b>
9	78	2	3	<b>28</b>
10	78	4	1	<b>28</b>
11	81	5	13	<b>33</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 19. Diagrama de cajas y bigotes, Nitrito**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.2.2. Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )

Los valores de nitrato registrados presentan promedios que oscilan entre 1 y 25 mg/L, con diferencias notorias entre puntos y entre monitoreos. En varios casos se observan incrementos puntuales importantes, con concentraciones que alcanzan hasta 42 mg/L, mientras que en otros puntos los valores permanecen bajos. Este patrón indica que el nitrato no se encuentra de manera uniforme en el efluente, sino que su presencia responde a condiciones variables de oxidación del nitrógeno, propias de un sistema donde los procesos de transformación no se desarrollan de forma continua ni estable.

La coexistencia de valores moderados de nitrato junto con concentraciones elevadas de nitrito, observadas en el presente estudio, sugiere que los procesos de nitrificación se encuentran parcialmente desarrollados. En determinadas condiciones, el nitrógeno logra avanzar hacia formas

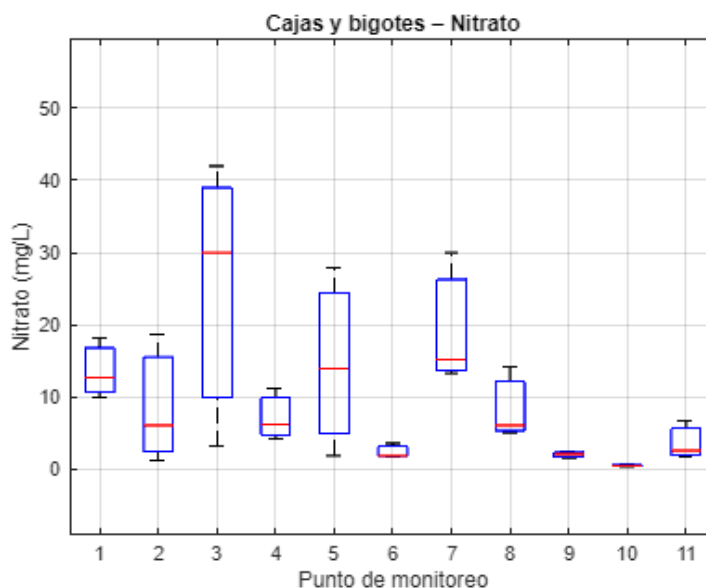
más oxidadas, mientras que en otros momentos el proceso se interrumpe, favoreciendo la acumulación de especies intermedias. Las diferencias entre monitoreos pueden asociarse a cambios temporales en la carga del efluente, derivados de la variación en la afluencia y uso de las instalaciones en distintas fechas de muestreo. En conjunto, los resultados reflejan un sistema con transformación incompleta del nitrógeno, lo que refuerza la necesidad de un tratamiento que permita estabilizar las condiciones de oxigenación y favorecer una conversión más uniforme de las distintas formas nitrogenadas.

**Tabla 16.** Caracterización de Nitrato (mg/L)

<b>Nitrato (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	10	12.7	18.2	<b>14</b>
2	1.2	6.1	18.7	<b>9</b>
3	30	3.2	42	<b>25</b>
4	6.2	4.3	11.2	<b>7</b>
5	13.9	27.9	1.9	<b>15</b>
6	1.8	3.6	1.9	<b>2</b>
7	13.3	15.2	30	<b>20</b>
8	5.1	14.2	6.1	<b>8</b>
9	2.5	2.1	1.6	<b>2</b>
10	0.4	0.5	0.7	<b>1</b>
11	1.7	2.6	6.7	<b>4</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 20.** Diagrama de cajas y bigotes, Nitrato



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.2.3. Turbidez (NTU)

Los valores de turbidez registrados presentan promedios que oscilan entre 1 y 381 NTU, evidenciando una amplitud considerable en la cantidad de partículas finas y material coloidal presentes en el agua residual medida directamente en el foco contaminante. En varios puntos se observan valores promedio superiores a 100 NTU, e incluso picos muy elevados durante determinados monitoreos, lo cual es característico de aguas residuales sin tratamiento y con alta carga de sólidos en suspensión. Estos valores se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para aguas residuales crudas o concentradas, donde la turbidez puede variar desde decenas hasta varios cientos de NTU, dependiendo del grado de arrastre y resuspensión de material particulado. (Turbidity and Water | U.S. Geological Survey, 2018)

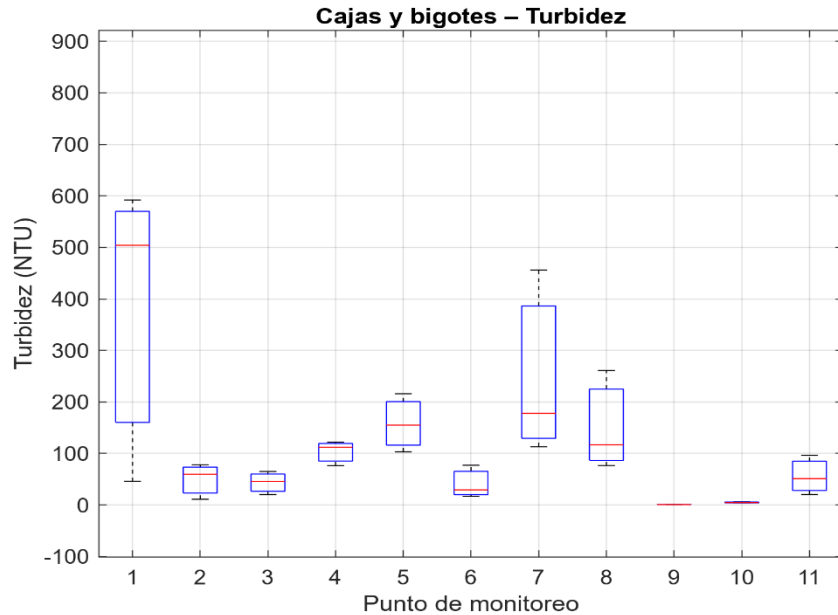
Desde el punto de vista normativo, la turbidez no constituye un parámetro regulado directamente en la normativa ecuatoriana para descargas de aguas residuales; sin embargo, se emplea como un indicador indirecto de la presencia de sólidos suspendidos y de la calidad física del efluente. Bajo criterios técnicos y ambientales, valores de turbidez elevados están asociados a un mayor impacto potencial sobre los cuerpos receptores, ya que reducen la penetración de luz y se relacionan con altas concentraciones de SST. En este contexto, aunque los valores obtenidos son coherentes con los rangos típicos de aguas residuales medidas en el foco contaminante, su magnitud confirma que el efluente presenta una carga física elevada, lo que refuerza la necesidad de implementar procesos de remoción de sólidos antes de cualquier descarga o tratamiento posterior. (*National Water Quality Inventory Report to Congress | US EPA, 2017*)

**Tabla 17. Caracterización de Turbidez (NTU)**

Puntos	Turbidez (NTU)			Promedio
	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	
1	45.8	504	592	<b>381</b>
2	11	59.7	78.1	<b>50</b>
3	65	20.2	45.6	<b>44</b>
4	112	122	76.2	<b>103</b>
5	155	103	216	<b>158</b>
6	16.8	29.4	77.2	<b>41</b>
7	113	456	178	<b>249</b>
8	76.4	261	117	<b>151</b>
9	0.77	0.83	1.22	<b>1</b>
10	3.8	4.38	6.17	<b>5</b>
11	20.3	96.2	51.3	<b>56</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 21.** Diagrama de cajas y bigotes, Turbidez



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.2.4. Alcalinidad (mg/L)

Los valores de alcalinidad registrados presentan promedios que oscilan entre 121 y 500 mg/L, evidenciando una capacidad buffer elevada del agua residual analizada. La mayoría de los puntos muestran valores superiores a 200 mg/L, y en algunos casos se alcanzan concentraciones cercanas al límite superior del rango reportado para aguas residuales sin tratamiento. Estos resultados se consideran altos, pero compatibles con efluentes residuales concentrados, donde la presencia de bicarbonatos, carbonatos y compuestos alcalinos derivados de la degradación de materia orgánica contribuye a incrementar la alcalinidad total. (Alkalinity and Water | U.S. Geological Survey, 2018)

Desde un punto de vista técnico, los rangos típicos de alcalinidad en aguas residuales suelen ubicarse aproximadamente entre 100 y 500 mg/L, por lo que los valores obtenidos se encuentran

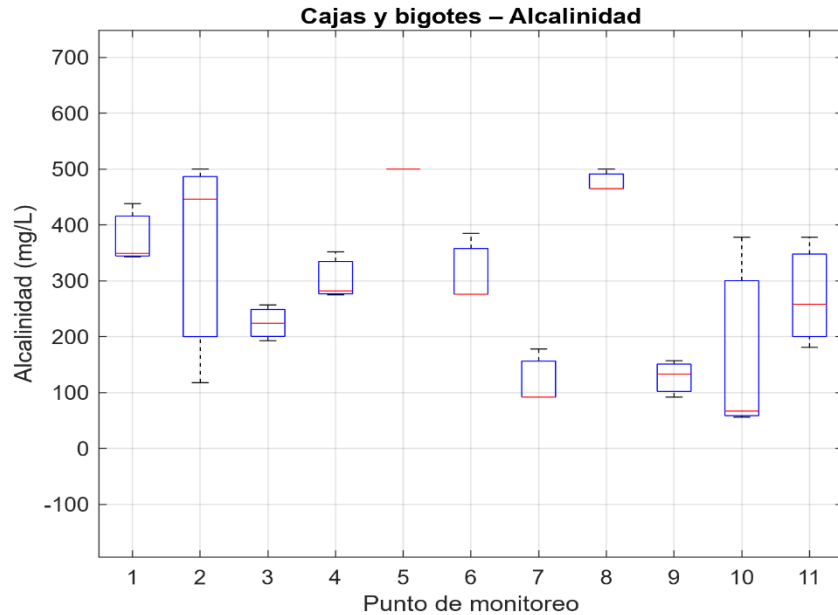
dentro de los rangos reportados en la literatura, aunque con predominio de valores medios–altos. La variación entre monitoreos sugiere cambios en la carga del efluente y en los procesos de transformación bioquímica, lo cual es coherente con la dinámica observada en otros parámetros como pH, nitrógeno y sólidos. En términos normativos, la alcalinidad no es un parámetro regulado de forma directa para descargas; sin embargo, su magnitud resulta relevante porque influye en la estabilidad del pH y en el desarrollo de procesos biológicos. (Metcalf & Eddy, 2013)

**Tabla 18.** *Caracterización de Alcalinidad (mg/L)*

<b>Alcalinidad (mg/L)</b>				
<b>Puntos</b>	<b>Monitoreo 1</b>	<b>Monitoreo 2</b>	<b>Monitoreo 3</b>	<b>Promedio</b>
1	349	438	343	<b>377</b>
2	118	446	500	<b>355</b>
3	224	193	257	<b>225</b>
4	275	282	352	<b>303</b>
5	500	500	500	<b>500</b>
6	276	276	385	<b>312</b>
7	92	92	178	<b>121</b>
8	465	465	500	<b>477</b>
9	92	133	157	<b>127</b>
10	56	67	378	<b>167</b>
11	181	258	378	<b>272</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 22. Diagrama de cajas y bigotes, Alcalinidad**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### **4.2.5. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Los valores de demanda química de oxígeno (DQO) obtenidos presentan promedios que varían entre 365 y 5 325 mg/L, con registros puntuales que alcanzan valores muy elevados, superiores a 13 000 mg/L en determinados monitoreos. Esta amplitud evidencia una carga orgánica y química extremadamente alta en el agua residual analizada, característica de efluentes medidos directamente en el foco contaminante y sin procesos de tratamiento previo. En comparación con rangos reportados en la literatura, donde las aguas residuales domésticas suelen presentar valores de DQO del orden de 250 a 1 000 mg/L, los resultados obtenidos se ubican mayoritariamente en un rango alto a muy alto, incluso superando ampliamente los valores típicos de efluentes concentrados. La marcada diferencia entre puntos refleja una heterogeneidad significativa en la composición del efluente y en la intensidad de la carga contaminante. (Metcalf & Eddy, 2013b)

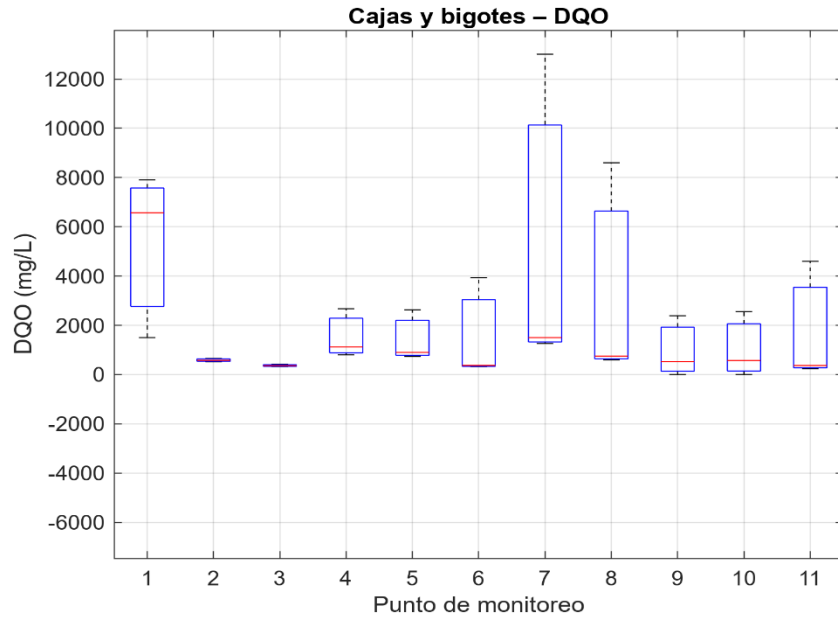
Las variaciones observadas entre monitoreos pueden asociarse a cambios en la carga del efluente en distintas fechas de muestreo, lo que implica diferencias en el aporte de materia orgánica y compuestos oxidables. Desde el punto de vista normativo, la legislación ambiental ecuatoriana establece para descargas a cuerpos de agua dulce un límite máximo permisible de 500 mg/L de DQO. Bajo este criterio, la totalidad de los valores promedio obtenidos excede el límite permitido, confirmando que el efluente no es apto para descarga directa sin tratamiento. En este contexto, los resultados de DQO ponen en evidencia una condición crítica de contaminación, reforzando la necesidad de implementar sistemas de tratamiento capaces de reducir significativamente la carga orgánica y química antes de cualquier vertido al medio natural. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA , 1992)

*Tabla 19. Caracterización de DQO (mg/L)*

Puntos	DQO (mg/L)			Promedio
	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	
1	6566	7908	1500	<b>5325</b>
2	578	652	523	<b>584</b>
3	412	359	325	<b>365</b>
4	1122	2674	803	<b>1533</b>
5	899	2631	737	<b>1422</b>
6	373	3932	321	<b>1542</b>
7	1500	13008	1263	<b>5257</b>
8	752	8601	596	<b>3316</b>
9	528	2386	0	<b>971</b>
10	572	2554	0	<b>1042</b>
11	365	4601	240	<b>1735</b>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 23.** Diagrama de cajas y bigotes, DQO



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### 4.3. Caracterización microbiológica del agua residual

La caracterización microbiológica del agua residual se realizó a partir de los resultados obtenidos en laboratorio para los once puntos de muestreo, considerando los valores promedio de tres monitoreos consecutivos. El análisis microbiológico permitió evaluar la presencia y magnitud de contaminación de origen fecal en los efluentes generados por los establecimientos turísticos, así como estimar el riesgo sanitario asociado a su descarga en el entorno del Parque Nacional Cajas.

Los resultados obtenidos constituyen un insumo fundamental para la interpretación de la calidad del agua residual y para la selección de procesos de tratamiento adecuados, orientados a la reducción de microorganismos patógenos y a la protección de los cuerpos de agua receptores.

#### 4.3.1. Escherichia coli (UFC/100 mL)

Los valores de Escherichia coli obtenidos presentan concentraciones promedio que varían desde  $5,0 \times 10^2$  hasta  $1,42 \times 10^6$  UFC/100 mL, evidenciando una carga microbiológica muy elevada en el agua residual analizada. La mayoría de los puntos muestra valores del orden de  $10^4$  a  $10^6$  UFC/100 mL, lo cual es característico de aguas residuales medidas directamente en el foco contaminante y refleja una fuerte contaminación de origen fecal. La presencia de un punto con valor nulo y otros con concentraciones menores indica heterogeneidad en el efluente, posiblemente asociada a diferencias en el tiempo de retención, condiciones locales del foco o diluciones puntuales; sin embargo, estos casos no modifican la tendencia general de alta contaminación microbiológica.

La magnitud de las concentraciones registradas evidencia un riesgo sanitario significativo, ya que la presencia de Escherichia coli en estos niveles refleja una elevada carga microbiológica asociada a contaminación fecal reciente. Este escenario es representativo de aguas residuales sin tratamiento y confirma que el efluente analizado presenta condiciones que pueden favorecer la transmisión de microorganismos patógenos. En consecuencia, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de considerar procesos de tratamiento orientados a la reducción efectiva de la carga bacteriana, con el fin de minimizar los impactos sobre la salud pública y el ambiente antes de cualquier posible descarga o manejo posterior del efluente.

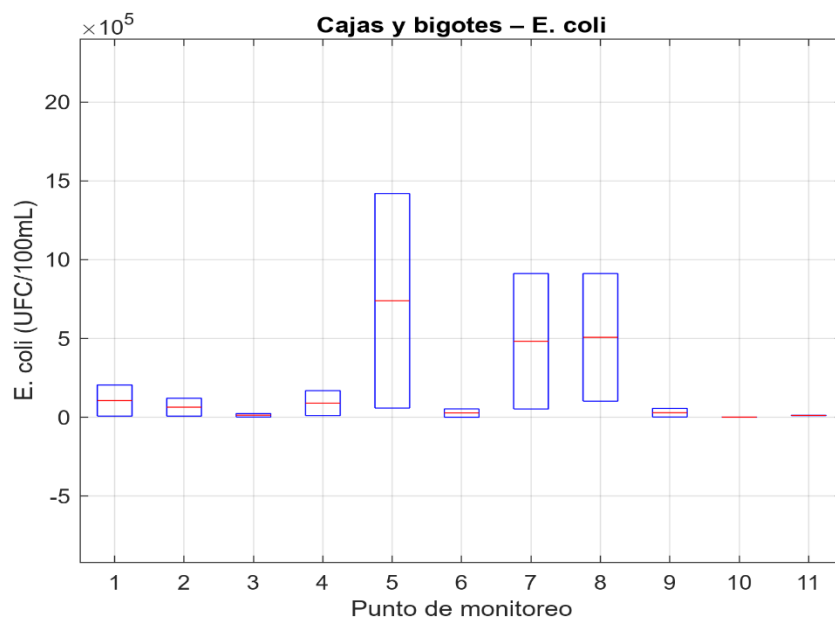
**Tabla 20.** Caracterización de *E. coli* (UFC/100mL)

<b>E. coli (UFC/100mL)</b>	
<b>Puntos</b>	<b>Promedio</b>
1	<b><math>2.04 \times 10^5</math></b>
2	<b><math>1.205 \times 10^5</math></b>
3	<b><math>2.35 \times 10^4</math></b>
4	<b><math>1,685 \times 10^5</math></b>
5	<b><math>1.42 \times 10^6</math></b>
6	<b>0</b>

7	$9.125 \times 10^5$
8	$9.125 \times 10^5$
9	$2.0 \times 10^3$
10	$5.0 \times 10^2$
11	$1.25 \times 10^4$

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Figura 24.** Diagrama de cajas y bigotes, *E. coli*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.4. Cálculo de caudales

El dimensionamiento de la línea de tratamiento se fundamentó en la estimación del caudal de aguas residuales generado por los establecimientos considerados en el área de estudio. Para garantizar un diseño robusto, no se trabajó únicamente con el promedio, sino que se incorporaron correcciones por picos turísticos y una proyección (criterio conservador) para evitar sub dimensionamientos.

En función de los registros y la consolidación de aportes por establecimiento, se obtuvieron tres caudales clave:

**Tabla 21. Caudales de diseño**

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Interpretación de uso en diseño</b>
<b>Q promedio</b>	5,121.82	L/día	Condición típica de operación (base “normal”).
<b>Q corregido para picos turísticos</b>	17,926.36	L/día	Condición crítica por variabilidad de afluencia (temporadas/alta carga).
<b>Q proyectado (10 años)</b>	22,947.26	L/día	Caudal adoptado para diseño conservador y crecimiento.
<b>Q de diseño equivalente</b>	0.265593	L/s	Conversión del caudal proyectado para cálculos hidráulicos.

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Caudal usado en diseño:**

$$Q_{diseño} = 22.947 \text{ m}^3/\text{d} \approx 0.2656 \text{ L/s}$$

El valor adoptado como caudal de diseño permite cubrir tanto la operación esperada como escenarios de mayor exigencia (picos) y crecimiento, reduciendo el riesgo de sobrecarga hidráulica en unidades como rejillas, sedimentador, vermifiltro y humedal. En consecuencia, el tren de tratamiento queda más estable frente a la variabilidad propia de una zona con componente turístico (Duque-Sarango et al., 2023).

## 4.5. Pretratamiento

### 4.5.1. Rejillas

El pretratamiento mediante rejillas se diseñó para retener sólidos gruesos y proteger las unidades posteriores (principalmente sedimentador y sistema secundario), evitando obstrucciones, acumulación de material y fallas operativas.

*Tabla 22. Datos de entrada para rejillas*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Q de diseño</b>	0.265593	L/s
<b>Separación entre barras (c)</b>	1.9	cm
<b>Espesor de barra (db)</b>	2.0	cm
<b>Inclinación</b>	70	°
<b>Tirante hidráulico (h)</b>	0.70	m
<b>Ancho del canal (w)</b>	1.00	m
<b>Bordo libre (hb)</b>	0.10	m
<b>Área geométrica (Au)</b>	0.70	m <sup>2</sup>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Caudal expresado en m<sup>3</sup>/s**

$$Q = 0.265593 \text{ L/s} = 0.000265593 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Velocidad expresada en m/s**

$$V = 0.000379419 \text{ m/s}$$

**Area expresada en m<sup>2</sup>**

$$A = Q/V$$

$$A=0.000265593 \text{ m}^3/\text{s} / 0.000379419 \text{ m/s}$$

$$A=0.6999 \text{ m}^2 \approx 0.70 \text{ m}^2$$

**Este valor es coherente y favorable para rejillas en sistemas pequeños, porque:**

- no genera velocidades excesivas que arrastren sólidos a través del sistema,
- reduce riesgos de erosión local,
- facilita retención y operación sin pérdidas de carga desproporcionadas.

**Número de barras / espacios (resultado constructivo)**

Con los criterios geométricos (separación y espesor), se obtuvo:

- $n \approx 25.15 \rightarrow$  se adopta 25 espacios (redondeo constructivo)
- Espacios: 25
- $n - 1$ : 24 (criterio de conteo para distribución)

**Además, se reportan anchos parciales:**

- Espesor total de barras  $\approx 0.48 \text{ m}$
- Separaciones totales  $\approx 0.475 \text{ m}$
- Ancho de paredes  $\approx 0.10 \text{ m}$

La rejilla resulta constructivamente viable, con una configuración realista (cantidad de espacios y anchos compatibles con un canal de 1 m), manteniendo el objetivo del pretratamiento sin complicar fabricación ni limpieza.

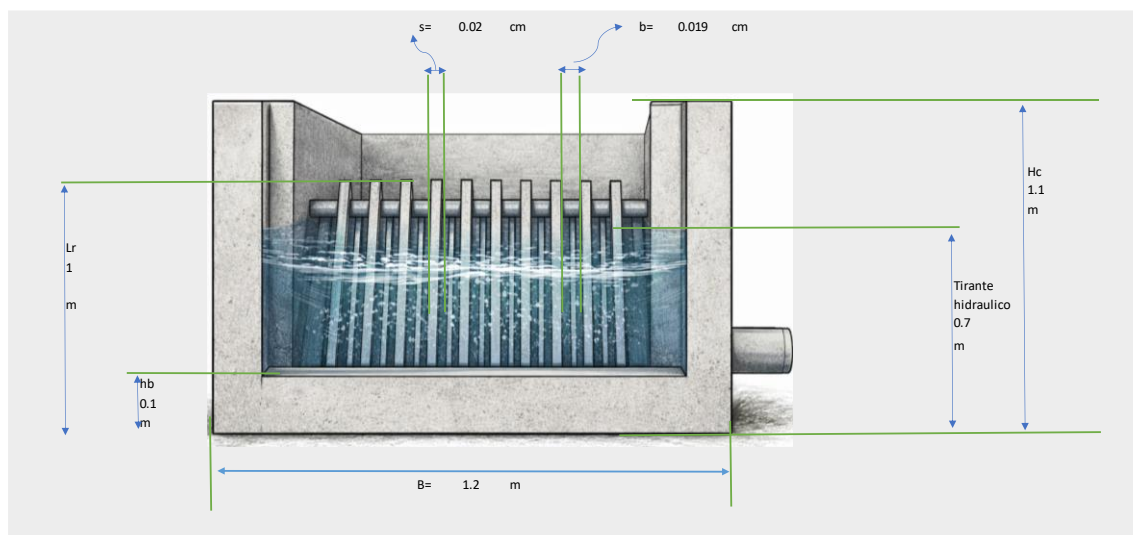
**Pérdida hidráulica**

Se obtuvo una pérdida de carga aproximada:

$$h_v \approx 0.006244$$

Esto indica una pérdida muy baja, consistente con un pretratamiento bien dimensionado para caudales pequeños, lo cual es favorable porque no “consume” energía hidráulica necesaria para el resto del sistema.

*Ilustración 1. Dimensionamiento de rejillas*



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## 4.6. Tratamiento primario

### 4.6.1. Sedimentador

El sedimentador se dimensionó con el objetivo de remover sólidos sedimentables y reducir parte de la carga contaminante antes del tratamiento secundario. Para ello se adoptó el caudal de diseño y una tasa de desbordamiento (criterio de área superficial) típica para sedimentación primaria en pequeña escala.

*Tabla 23. Datos de entrada de sedimentador*

<b>Concepto</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
<b>Caudal de diseño</b>	(Qd)	0.265593	L/s
<b>Tasa de desbordamiento</b>	(R)	10	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d
<b>Velocidad de sedimentación</b>	(Vs)	0.000347	m/s
<b>Área superficial requerida</b>	(As)	2.294726	m <sup>2</sup>
<b>Ancho adoptado</b>	(B)	1.00	m
<b>Longitud zona de sedimentación</b>	(L_2)	2.294726	m
<b>Longitud total</b>	(L)	3.494726	m
<b>Altura mínima</b>	(H)	2.00	m
<b>Relación (L/B)</b>	—	3.494726	—
<b>Relación (L/H)</b>	—	1.747363	—

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

### **Tiempo de retención hidráulica**

En el comportamiento hidráulico de la unidad se obtuvo:

$$\mathbf{T_o \approx 4.8 \text{ horas}}$$

Un TRH de este orden es consistente con sedimentación primaria en sistemas pequeños, permitiendo que partículas sedimentables tengan tiempo efectivo para decantar sin requerir volúmenes excesivos.

### **Elementos hidráulicos complementarios**

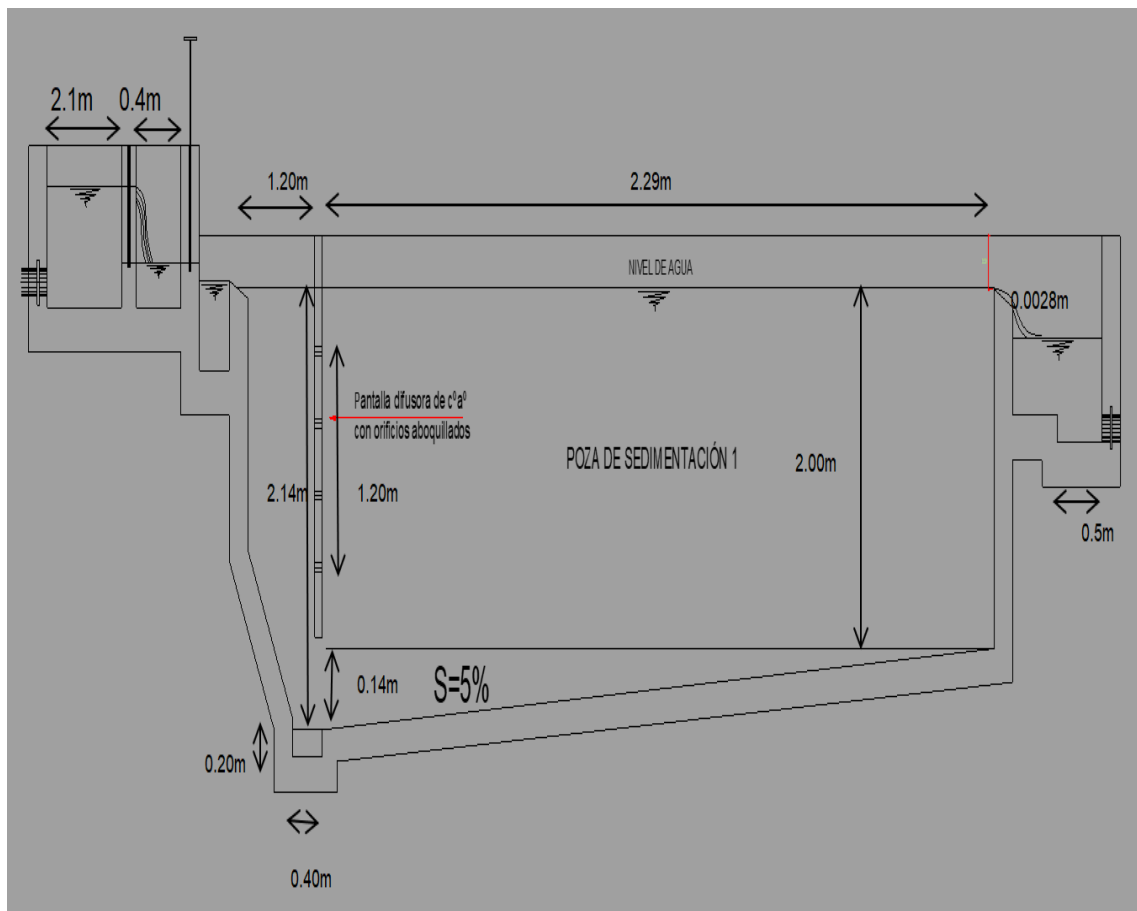
En la hoja de diseño se incluyen parámetros asociados a la conducción y salida, entre ellos:

- Longitud de vertedero L3= 1.0m

- Valores de control hidráulico como pendientes y alturas asociadas al flujo (por ejemplo, H1 y H2).

El sedimentador queda dimensionado con geometría estable y relaciones razonables. Se prioriza que la unidad sea construible, con ancho simple (1 m), longitudes manejables y altura suficiente para asegurar el proceso sin riesgo de cortocircuitos hidráulicos evidentes.

**Ilustración 2. Dimensionamiento de sedimentador**



**Elaborado por: Panza, Rivera 2026**

## 4.7. Tratamiento secundario

### 4.7.1. Vermifiltro

El vermifiltro se planteó como unidad secundaria por su capacidad de remover materia orgánica y sólidos finos mediante un lecho estratificado y actividad biológica (lombrices + biofilm). Su diseño se basó en el caudal definido para esta etapa y en concentraciones medidas en la caracterización.

*Tabla 24. Datos de entrada usados en el diseño*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de trabajo	(Q)	22.95	m <sup>3</sup> /d
DQO	DQO	2.09	kg/m <sup>3</sup> (equiv. 2090 mg/L)
DBO (5) entrada	DBO	1.260	kg/m <sup>3</sup> (equiv. 1260 mg/L)
SST	SST	62.42	mg/L

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Tabla 25. Dimensionamiento hidráulico*

Criterio	Resultado	Unidad
Carga hidráulica adoptada	1.6	(del criterio de diseño)
Área mínima requerida	14	m <sup>2</sup>
Profundidad total del lecho	0.80	m

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Tabla 26. Estratigrafía del lecho (resultado constructivo)*

Capa	Material	Espesor
1	Humus activo + lombrices	0.10 m
2	Arena filtrante (1–3 mm)	0.20 m

<b>3</b>	<b>Grava fina (6–12 mm)</b>	0.20 m
<b>4</b>	<b>Grava gruesa / drenaje (20–40 mm)</b>	0.30 m
<b>Total</b>	—	0.80 m

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Tabla 27. Verificaciones y resultados operativos*

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Lectura</b>
<b>Volumen del lecho</b>	11	m <sup>3</sup>	Capacidad geométrica del filtro.
<b>Volumen útil</b>	4	m <sup>3</sup>	Volumen efectivo para flujo/porosidad.
<b>TRH</b>	0.19	días	Equivalente a $\approx 5.21$ h, adecuado para contacto hidráulico.
<b>Carga orgánica superficial (OLR)</b>	2.015	kg/m <sup>2</sup> ·día	Valor bajo → diseño conservador (mayor margen).

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

*Tabla 28. Materiales por capa*

<b>Material</b>	<b>Volumen</b>
<b>Humus</b>	1.4 m <sup>3</sup>
<b>Arena</b>	2.9 m <sup>3</sup>
<b>Grava fina</b>	2.9 m <sup>3</sup>
<b>Grava gruesa</b>	4.3 m <sup>3</sup>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

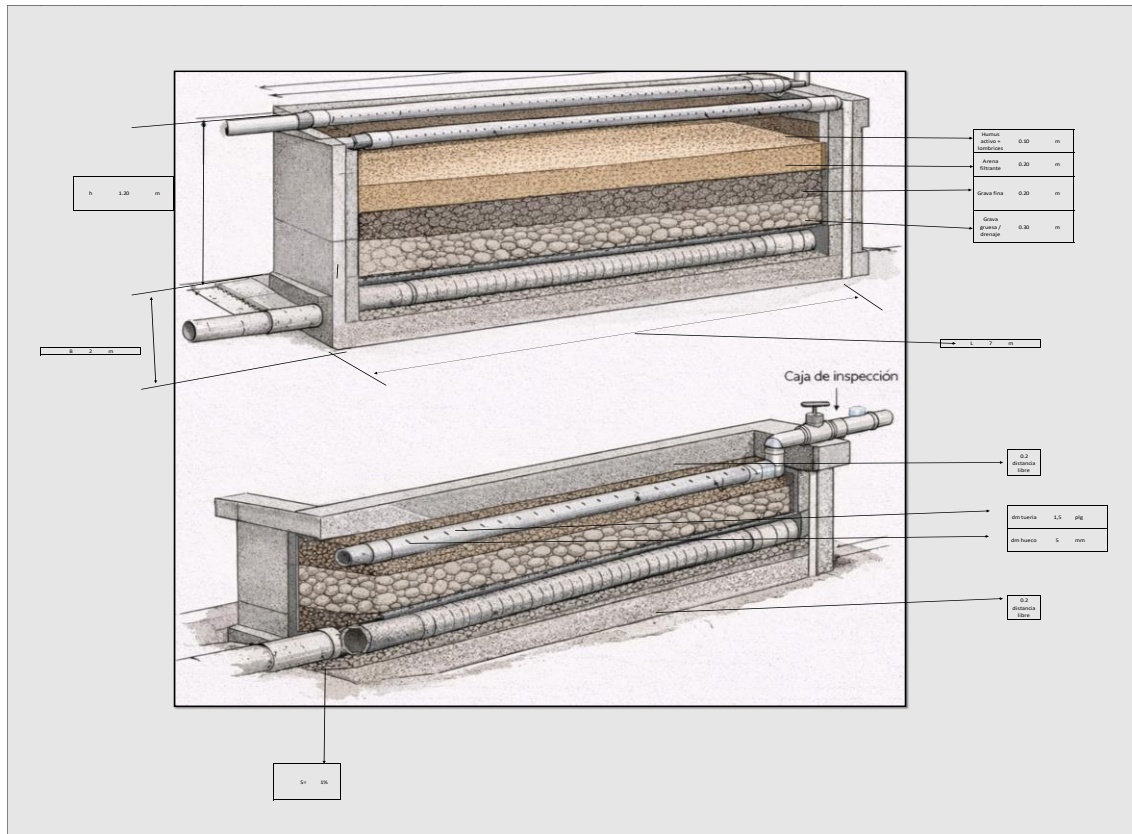
**Además, se estimó:**

Masa de lombrices de 2 kg con un número de 5737 lombrices (orden de magnitud operativo)

El vermifiltro demostró ser una unidad de tratamiento secundaria altamente eficiente para el manejo de aguas residuales generadas por actividades turísticas. A partir de los parámetros de diseño adoptados y de las cargas orgánicas evaluadas, este sistema permitió una reducción significativa de la materia orgánica biodegradable, evidenciada en la disminución de la DBO<sub>5</sub>, gracias a la acción conjunta de la biota microbiana, la actividad de las lombrices y los procesos físicos de filtración.

La selección de un tiempo de retención hidráulica adecuado, junto con un medio filtrante de porosidad controlada, garantizó condiciones aeróbicas estables, favoreciendo la degradación biológica sin generar olores ni procesos anaerobios indeseables. Asimismo, el vermifiltro se adapta de manera eficiente a la variabilidad de caudales propia de la actividad turística, requiriendo mantenimiento mínimo y sin demanda de energía, lo que lo convierte en una alternativa técnica y ambientalmente sostenible para contextos rurales y de conservación.

**Ilustración 3. Dimensionamiento de vermifiltro**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

#### 4.7.2. Humedal artificial

El humedal subsuperficial horizontal se dimensionó como unidad secundaria/pulimento, trabajando con medio granular y vegetación (macrófitas) para mejorar remoción de DBO remanente, SST finos y nitrógeno (según parámetros usados).

**Tabla 29. Datos de entrada**

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	0.27	L/s
Caudal	22.95	m <sup>3</sup> /d
Profundidad saturada (h)	1.2	m

<b>Porosidad (n)</b>	0.40	—
<b>Conductividad hidráulica (K)</b>	150	m/d

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Tabla 30. Cálculo hidráulico principal**

<b>Resultado</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Volumen útil requerido</b>	11.47	m <sup>3</sup>
<b>Volumen total del lecho</b>	28.68	m <sup>3</sup>
<b>Área superficial requerida</b>	23.90	m <sup>2</sup>

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

**Tabla 31. Geometría “constructible”**

<b>Dimensión</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Ancho (B)</b>	3	m
<b>Largo (L)</b>	8	m
<b>Relación (L/B)</b>	3	—

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

La geometría final evita diseños “infinitos” (muy largos y angostos) y se ajusta a una implantación realista, manteniendo la superficie requerida.

**Tabla 32. Verificaciones hidráulicas (resultado)**

<b>Verificación</b>	<b>Resultado</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Sección transversal de flujo (Ac)</b>	3.38	m <sup>2</sup>
<b>Velocidad Darcy (q)</b>	6.78	m <sup>3</sup> /s
<b>Gradiente hidráulico (i)</b>	0.045	(adimensional)

<b>Caída de carga (z)</b>	0.38	m
---------------------------	------	---

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

Estos valores permiten sostener el flujo subsuperficial dentro del medio sin requerir pendientes excesivas, lo cual es favorable para la estabilidad del humedal y su operación.

**Tabla 33. Vegetación**

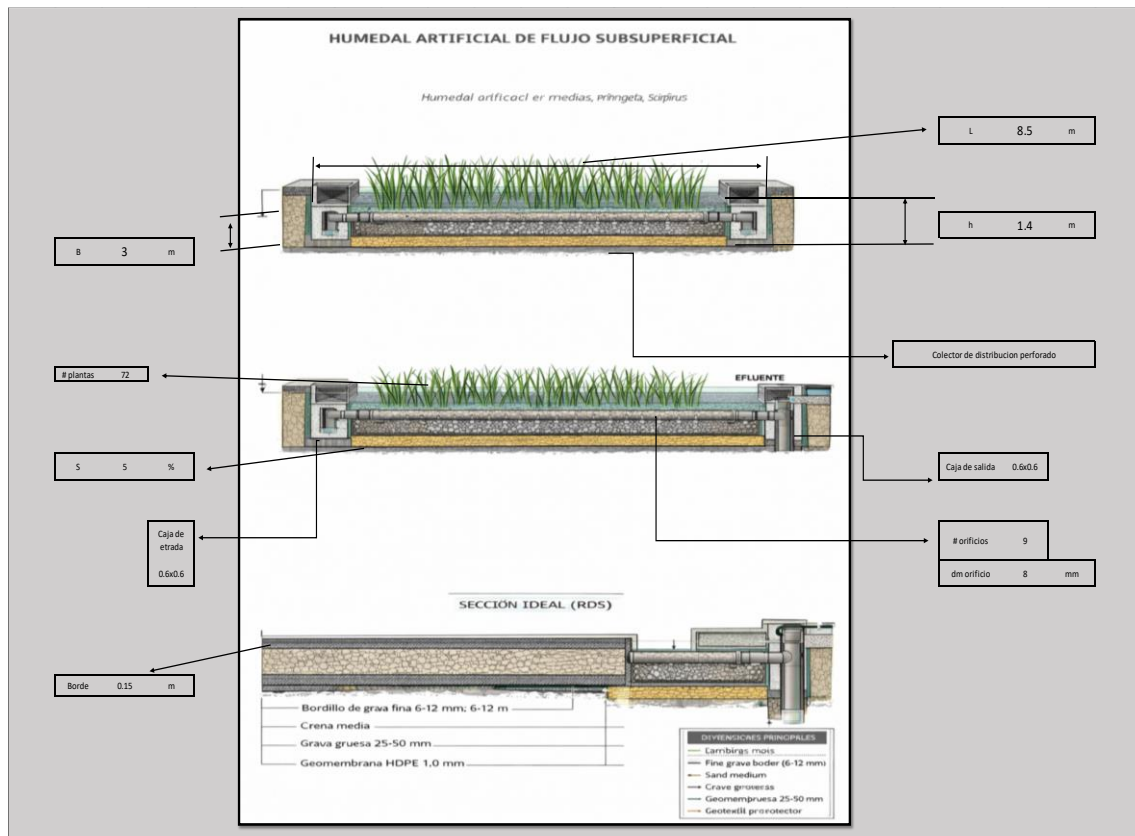
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Densidad de plantación</b>	3 plantas/m <sup>2</sup>
<b>Número de plantas</b>	72 plantas

*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

El humedal artificial de flujo subsuperficial cumple un rol fundamental como etapa de pulimiento del efluente tratado previamente en el vermifiltro, mejorando la calidad final del agua antes de su disposición o posible reutilización.

El diseño hidráulico adoptado, basado en la porosidad del medio, la profundidad saturada y el tiempo de retención hidráulica, permitió asegurar un flujo uniforme y subsuperficial, evitando la exposición del agua residual al ambiente. Este sistema contribuye de manera efectiva a la remoción adicional de materia orgánica residual, nutrientes y sólidos finos, mediante procesos combinados de filtración, adsorción, actividad microbiana y asimilación vegetal. La integración del humedal dentro del sistema de tratamiento refuerza el enfoque ecológico del proyecto, alineándose con los criterios de protección ambiental del Parque Nacional Cajas y constituyendo una solución de bajo impacto paisajístico, alta resiliencia y elevada compatibilidad con el entorno natural.

**Ilustración 4. Dimensionamiento de humedal**



*Elaborado por: Panza, Rivera 2026*

## CONCLUSIONES

La caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales generadas por actividades turísticas en la zona de influencia del Parque Nacional Cajas permitió identificar que los efluentes presentan características propias de aguas residuales domésticas y asimilables a domésticas, con una alta variabilidad en su calidad debido al tipo de establecimiento, las prácticas operativas y la estacionalidad de la actividad turística.

Los resultados de los ensayos de laboratorio evidenciaron concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, sólidos disueltos, demanda química de oxígeno y microorganismos indicadores de contaminación fecal, superando en varios casos los valores recomendados para descargas directas al ambiente.

La caracterización microbiológica, a través del análisis de *Escherichia coli*, demostró la presencia significativa de contaminación de origen fecal, lo que representa un riesgo sanitario y ambiental relevante, especialmente considerando que el área de estudio corresponde a una zona natural protegida con alta sensibilidad ecológica y función estratégica en el abastecimiento hídrico regional.

El análisis de los caudales generados y de las condiciones ambientales propias del entorno altoandino permitió establecer criterios de diseño acordes a la realidad local, evidenciando la necesidad de sistemas de tratamiento robustos, de operación sencilla y capaces de adaptarse a variaciones de carga y caudal propias del turismo rural.

El diseño del sistema tipo propuesto, conformado por etapas de pretratamiento mediante rejillas, tratamiento primario por sedimentación y tratamiento secundario mediante vermifiltro y

humedal artificial, se presenta como una alternativa técnica viable, ambientalmente adecuada y compatible con las condiciones físicas, climáticas y operativas del área de estudio.

Finalmente, el sistema propuesto demuestra ser una solución replicable para otros establecimientos turísticos ubicados en zonas rurales y áreas protegidas, contribuyendo a la reducción de la carga contaminante, la protección del recurso hídrico y el fortalecimiento de una gestión ambiental más sostenible del turismo en el Parque Nacional Cajas.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda a los establecimientos turísticos ubicados en la zona de influencia del Parque Nacional Cajas implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados a sus condiciones operativas, priorizando tecnologías de bajo impacto ambiental, bajo consumo energético y fácil mantenimiento, como las propuestas en el presente estudio.

Es fundamental que las autoridades ambientales y los organismos de control fortalezcan los programas de seguimiento y control de descargas de aguas residuales en áreas protegidas, promoviendo el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y la adopción de buenas prácticas de saneamiento por parte de los operadores turísticos.

Se sugiere complementar futuros estudios con monitoreos de mayor duración que incluyan variaciones estacionales de caudal y carga contaminante, con el fin de optimizar los criterios de diseño y evaluar el comportamiento del sistema propuesto bajo escenarios de máxima demanda turística.

Se recomienda capacitar a los propietarios y administradores de establecimientos turísticos en el manejo y mantenimiento básico de los sistemas de tratamiento, ya que una operación adecuada es determinante para garantizar la eficiencia y la vida útil de las unidades implementadas.

Finalmente, se sugiere que investigaciones futuras incorporen el análisis de otros parámetros relevantes, como demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y nutrientes totales, así como la evaluación del desempeño a largo plazo de los humedales artificiales y vermifiltros en condiciones reales de operación dentro de áreas naturales protegidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akhmouch, A., Clavreul, D., & Glas, P. (2018). Introducing the OECD Principles on Water Governance. *Water International*, 43(1), 5–12. <https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1407561>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:RWIN20;WGRO UP:STRING:PUBLICATION
- Alkalinity and Water* | U.S. Geological Survey. (n.d.). Retrieved January 27, 2026, from <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/alkalinity-and-water>
- APHA (2017) + guías de muestreo. - Buscar con Google. (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from [https://www.google.com/search?q=APHA+\(2017\)+%2B+gu%C3%ADas+de+muestreo.&oq=APHA+\(2017\)+%2B+gu%C3%ADas+de+muestreo.&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigAdlBBzY5M2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=APHA+(2017)+%2B+gu%C3%ADas+de+muestreo.&oq=APHA+(2017)+%2B+gu%C3%ADas+de+muestreo.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIHCAEQIRigAdlBBzY5M2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.)*. Washington DC American Public Health Association. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2459667>
- Arora, S., & Saraswat, S. (2021). Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100061. <https://doi.org/10.1016/J.CRGSC.2021.100061>
- Asensi, E., Alemany, E., Duque-Sarango, P., & Aguado, D. (2019). Assessment and modelling of the effect of precipitated ferric chloride addition on the activated sludge settling properties. *Chemical Engineering Research and Design*, 150, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.07.018>
- Carlos Joel Ábrego-Góngora, R. B.-G. L. A. B.-J. A. E.-C. (2014). *Metcalf y Eddy Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales y Recuperación de Recursos*. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1570736>
- Chemistry For Environmental Engineering and Science (Sawyer and McCarty) 01 | PDF*. (n.d.). Retrieved January 8, 2026, from <https://es.scribd.com/document/864810323/Chemistry-for-Environmental-Engineering-and-Science-Sawyer-and-McCarty-01>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Waste Water Management System (pp. 169-239)*. San Francisco, CA WCB/McGraw Hill. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.-a). Retrieved January 8, 2026, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2821194>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Waste Water Management System (pp. 169-239)*. San Francisco, CA WCB/McGraw Hill. - References - Scientific Research Publishing. (n.d.-b). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2821194>
- Dalgleish, T., Williams, J. M. G. ., Golden, A.-M. J., Perkins, N., Barrett, L. F., Barnard, P. J., Au Yeung, C., Murphy, V., Elward, R., Tchanturia, K., & Watkins, E. (2017). Statistik WHO 2017. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 23–42. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2a>

hUKEwiVrvTa3KPeAhXBKo8KHZkuBwIQFjAAegQIBxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.who.int%2Fgho%2Fpublications%2Fworld\_health\_statistics%2F2017%2Fen%2F&usg=AOvVaw20CEFRfxkeGdMFqs mwl61C

Department of Public Health, E. and S. D. of H., & World Health Organization. (2018). *GUIDELINES ON SANITATION AND HEALTH*. <https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2018/12/9789241514705-eng.pdf>

Duque-Sarango, P., & Hernández, B. (2020). Estudio integral del recurso hídrico de la microcuenca del río guarango, cuenca – ecuador. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 30, 240–252. <https://search.proquest.com/docview/2404399354?accountid=32861>.

Duque-Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600351>

Duque-Sarango, P., & Pinos, V. (2022). *Modeling of the Guangarcucho Municipal Wastewater Treatment Plant Using WEST, Cuenca-Ecuador*. 33–46. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-93718-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-93718-8_4)

Duque-Sarango, P., Robles, K., & Cedillo, S. (2026). *Smart Irrigation Technology, Ensuring Water Availability: An Automated Approach for Greenhouse Water Management*. 283–295. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-98290-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-98290-3_21)

Duque-Sarango, P., Romero-Martínez, L., Pinos-Vélez, V., Sánchez-Cordero, E., & Samaniego, E. (2023). Comparative Study of UV Radiation Resistance and Reactivation Characteristics of E. coli ATCC 8739 and Native Strains: Implications for Water Disinfection. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 9559, 15(12), 9559. <https://doi.org/10.3390/SU15129559>

Ernesto, C., & Cascante, B. (2021). *Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad de Alacao, provincia de Chimborazo (Ecuador)*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/177715>

García Quito, A. G., & Ludizaca Viracocha, W. E. (2017). *Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad del Tabacay, cantón Azogues, provincia de Cañar*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27743>

*Global status report on water safety plans*. (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-FWC-WSH-17.03>

*Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, 4th Edition | PDF | Water Purification | Sewage Treatment*. (n.d.). Retrieved January 8, 2026, from <https://es.scribd.com/document/503480428/Handbook-of-Water-and-Wastewater-Treatment-Plant-Operations-4th-Edition>

*humedal artificial - Buscar con Google*. (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from [https://www.google.com/search?q=humedal+artificial&sca\\_esv=c05576a0624c228e&udm=2&biw=958&bih=944&aic=0&sxsrf=ANbL-n6enpglbfHZxJSuCoCsWkAOsoKlxA%3A1768088902390&ei=RuViacTGF-uRwbkP5Y-ioQ4&oq=humedal+artificial&gs\\_lp=Egtdnd3Mtd2l6LWltZyIhSaHVtZWZhbnRzZmljaWFsKgIADIF](https://www.google.com/search?q=humedal+artificial&sca_esv=c05576a0624c228e&udm=2&biw=958&bih=944&aic=0&sxsrf=ANbL-n6enpglbfHZxJSuCoCsWkAOsoKlxA%3A1768088902390&ei=RuViacTGF-uRwbkP5Y-ioQ4&oq=humedal+artificial&gs_lp=Egtdnd3Mtd2l6LWltZyIhSaHVtZWZhbnRzZmljaWFsKgIADIF)

EAAYgAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAyAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAyAQyBRAAGIAEMgUQABiABDIFEAAyARInTtQxw9Y5StwAXgAkAEAmAGFAaABwBCqAQQwLjE4uAEByAEA-AEBmAIToAKHEagCCsICChAjGCcYyQIY6gLCAGcQlXgnGMkCwglLEAAyAQYsQMYgWHCAGgQABiABBixA8ICChAAGIAEGEMYigXCAhAQABiABBixAxhDGIMBGloFwgINEAAyAQYsQMYQxiKBZgDB5IHBDEuMTigB-Z3sgcEMC4xOLgH\_xDCBwYwLjE1LjTIBzeACAA&sclient=gws-wiz-img#sv=CAMSVhoyKhBILWNub3N6ZVB2Q09XMhZNMg5jbm9zemVQdkNPVzB2TToOeTVEU1VPU2I5VXNKRU0gBCocCgZtb3NhaWMSEGUtY25vc3plUHZDT1cwdk0YADABGAcg1ufm2Q0wAkoKCAIQAhgCIAloAg

Ifeanyi Mirian Oyem, H. H. O. E. I. A. (1998). *Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998).* <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2821194>

ISO 5667-1:2020 - *Calidad del agua.* (2020). <https://www.iso.org/standard/72369.html>

Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008a). Treatment Wetlands. *Treatment Wetlands.* <https://doi.org/10.1201/9781420012514/TREATMENT-WETLANDS-ROBERT-KADLEC-SCOTT-WALLACE>

Kadlec, R. H., & Wallace, S. (2008b). Treatment Wetlands. *Treatment Wetlands.* <https://doi.org/10.1201/9781420012514/TREATMENT-WETLANDS-ROBERT-KADLEC-SCOTT-WALLACE>

Mainier, F. B., Pontual, L., Oliveira, R. T. Q. de, Santos, I. de O., Mainier, F. B., Pontual, L., Oliveira, R. T. Q. de, & Santos, I. de O. (2015). Contamination Precautions for Chemicals Which May Be Used in Drinking Water Treatment. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 3(11), 63–71. <https://doi.org/10.4236/MSCE.2015.311008>

Merchán-Sanmartín, B., Álava-Zúñiga, B., Vallejo-Palomeque, F., Suárez-Zamora, S., Aguilar-Aguilar, M., & Morante-Carballo, F. (2025). Integrated Wastewater Management for Environmental Protection and Sustainable Ecotourism in an Andean Paramo Community. *Challenges in Sustainability*, 13(3), 334–353. <https://doi.org/10.56578/CIS130302>

Metcalf & Eddy. (2013a). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.* <https://books.google.com.cu/books?id=6KVKMAEACAAJ>

Metcalf & Eddy. (2013b). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery.* <https://books.google.com.cu/books?id=6KVKMAEACAAJ>

*Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery (5th Edition) - Intro | PDF | Sewage Treatment | Chemistry.* (n.d.-a). Retrieved January 8, 2026, from <https://es.scribd.com/document/842034487/Metcalf-Eddy-Wastewater-Engineering-Treatment-and-Resource-Recovery-5th-Edition-Intro>

*Metcalf & Eddy - Wastewater Engineering - Treatment and Resource Recovery (5th Edition) - Intro | PDF | Sewage Treatment | Chemistry.* (n.d.-b). Retrieved January 8, 2026, from <https://es.scribd.com/document/842034487/Metcalf-Eddy-Wastewater-Engineering-Treatment-and-Resource-Recovery-5th-Edition-Intro>



*rejillas de pretratamiento de aguas residuales - Buscar con Google.* (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from [https://www.google.com/search?sca\\_esv=c05576a0624c228e&sxsrf=ANbL-n6hFNzIptlrN3pTiz1wFv72Nj5YQQ:1768088673408&udm=2&fbs=ADc\\_l-bpk8W4E-qsVlOvbGjCdwpn60DczFdcvPnuv8WQohHLTaf9fS4tJ71bi2aHS-Pmeg3gf3Rx3g7wPLd9qB5u5EuZhMXuPeqT6F4uvhxiFyT4NIBfKo3u3pfBF6mLwoBr8aDxSuhZQInTDkxPNrB78iSyfqux8A2AYETftCbDAIxM7zgJXLfzxFgBOVfGcJBgc0lb8JeAxX3UITHdg-wSz-rTZ7lqPA&q=rejillas+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&sa=X&ved=2ahUKEwizir3Kk4KSAXWrpLAFHQzRODcQtKgLegQIFhAB&biw=958&bih=944&dpr=1&aic=0#sv=CAMSVhoyKhBILWVQaE1DQnJLNnhyRUIINmg5IUGhNQJySzZ4ckVJTtoOVXpnYzdoUFotU3FrSk0gBCocCgZtb3NhaWMSEGUtZVBoTUNCcks2eHJFSU0YADABGAcgxu7Bjw0wAkoKCAIQAhgCIAIoAg](https://www.google.com/search?sca_esv=c05576a0624c228e&sxsrf=ANbL-n6hFNzIptlrN3pTiz1wFv72Nj5YQQ:1768088673408&udm=2&fbs=ADc_l-bpk8W4E-qsVlOvbGjCdwpn60DczFdcvPnuv8WQohHLTaf9fS4tJ71bi2aHS-Pmeg3gf3Rx3g7wPLd9qB5u5EuZhMXuPeqT6F4uvhxiFyT4NIBfKo3u3pfBF6mLwoBr8aDxSuhZQInTDkxPNrB78iSyfqux8A2AYETftCbDAIxM7zgJXLfzxFgBOVfGcJBgc0lb8JeAxX3UITHdg-wSz-rTZ7lqPA&q=rejillas+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&sa=X&ved=2ahUKEwizir3Kk4KSAXWrpLAFHQzRODcQtKgLegQIFhAB&biw=958&bih=944&dpr=1&aic=0#sv=CAMSVhoyKhBILWVQaE1DQnJLNnhyRUIINmg5IUGhNQJySzZ4ckVJTtoOVXpnYzdoUFotU3FrSk0gBCocCgZtb3NhaWMSEGUtZVBoTUNCcks2eHJFSU0YADABGAcgxu7Bjw0wAkoKCAIQAhgCIAIoAg)

Romero-Martínez, L., Duque-Sarango, P., Acevedo-Merino, A., & Nebot, E. (2019a). Comparing the inactivating efficacy of enteric bacteria in seawater treated with different configurations of continuous flow-through ultraviolet devices: single-pass and recirculation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(2980–2989), jctb.6108. <https://doi.org/10.1002/jctb.6108>

Romero-Martínez, L., Duque-Sarango, P., Acevedo-Merino, A., & Nebot, E. (2019b). Comparing the inactivating efficacy of enteric bacteria in seawater treated with different configurations of continuous flow-through ultraviolet devices: single-pass and recirculation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(9), 2980–2989. <https://doi.org/10.1002/JCTB.6108>

Romero-Martínez, L., Duque-Sarango, P., Acevedo-Merino, A., & Nebot, E. (2019c). Comparing the inactivating efficacy of enteric bacteria in seawater treated with different configurations of continuous flow-through ultraviolet devices: single-pass and recirculation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 94(9), 2980–2989. <https://doi.org/10.1002/jctb.6108>

*Sawyer, C.N., McCarty, P.L. and Parkin, G.F. (2003) Chemistry for Environmental and Engineering Science. 5th Edition, McGraw Hill Inc., New York, 587-590. - References - Scientific Research Publishing.* (n.d.). Retrieved January 8, 2026, from <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1458612>

*sedimentador de pretratamiento de aguas residuales - Buscar con Google.* (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from [https://www.google.com/search?q=sedimentador+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&sca\\_esv=c05576a0624c228e&udm=2&biw=958&bih=944&aic=0&sxsrf=ANbL-n5kld-HsMtBqNY6ylouRuydCOBBeA%3A1768088675348&ei=Y-Riadj6FJGawbkPpdnE-AE&ved=0ahUKEwiYuLPLk4KSAXURTTABHaUsER8Q4dUDCBI&uact=5&oq=sedimentador+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&gs\\_lp=EgtnD3Mtd2l6LWltZylyc2VkaW1lbnRhZG9yIGRIIHByZXRYXRhbwllbnRvIGRIIGFndWFzIHJlc2lkWFsZXNI8C1QkApY0ytwAXgAkAEAmAGnAaAB\\_BGqAQQwLjE4uAEDyAEA-AEBmAlEoAKWA8ICBRAAGIAEwglGEAAYBxgemAMAIAYBkgcDMS4zoAfoD7IHAAuM7gHjgPCBwcljEuMi4xyAcSgAgA&scient=gws-wiz-img#sv=CAMSVhoyKhBILVFTcHhHUVhkemJ2NVZNMg5RU3B4R1FYZHpidjVWTTtoOekd5VFhfQUhZRVhPY00gBCocCgZtb3NhaWMSEGUtUVNweEdRWGR6YnY1Vk0YADABGAcg2LTSzkwkAkoKCAIQAhgCIAIoAg](https://www.google.com/search?q=sedimentador+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&sca_esv=c05576a0624c228e&udm=2&biw=958&bih=944&aic=0&sxsrf=ANbL-n5kld-HsMtBqNY6ylouRuydCOBBeA%3A1768088675348&ei=Y-Riadj6FJGawbkPpdnE-AE&ved=0ahUKEwiYuLPLk4KSAXURTTABHaUsER8Q4dUDCBI&uact=5&oq=sedimentador+de+pretratamiento+de+aguas+residuales&gs_lp=EgtnD3Mtd2l6LWltZylyc2VkaW1lbnRhZG9yIGRIIHByZXRYXRhbwllbnRvIGRIIGFndWFzIHJlc2lkWFsZXNI8C1QkApY0ytwAXgAkAEAmAGnAaAB_BGqAQQwLjE4uAEDyAEA-AEBmAlEoAKWA8ICBRAAGIAEwglGEAAYBxgemAMAIAYBkgcDMS4zoAfoD7IHAAuM7gHjgPCBwcljEuMi4xyAcSgAgA&scient=gws-wiz-img#sv=CAMSVhoyKhBILVFTcHhHUVhkemJ2NVZNMg5RU3B4R1FYZHpidjVWTTtoOekd5VFhfQUhZRVhPY00gBCocCgZtb3NhaWMSEGUtUVNweEdRWGR6YnY1Vk0YADABGAcg2LTSzkwkAkoKCAIQAhgCIAIoAg)

- Septic Systems (Decentralized/Onsite Systems) | US EPA.* (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.epa.gov/septic>
- Septic Systems (Decentralized/Onsite Systems) | US EPA.* (2025, September 15). <https://www.epa.gov/septic>
- Singh, R., Samal, K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2019). Vermifiltration as a sustainable natural treatment technology for the treatment and reuse of wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 247, 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2019.06.075>
- Spellman, F. R. (2013). Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations: Third Edition. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations: Third Edition*, 1–853. <https://doi.org/10.1201/B15579/HANDBOOK-WATER-WASTEWATER-TREATMENT-PLANT-OPERATIONS-FRANK-SPELLMAN/RIGHTS-AND-PERMISSIONS>
- Standard Methods.* (n.d.-a). Retrieved January 8, 2026, from <https://www.standardmethods.org/>
- Standard Methods.* (n.d.-b). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.standardmethods.org/>
- Standard Methods.* (n.d.-c). Retrieved January 27, 2026, from <https://www.standardmethods.org/>
- Standard Methods.* (2025). <https://www.standardmethods.org/>
- Tipos de aguas residuales - Hidrotec.* (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Tratamiento y Depuración de Las Aguas Residuales.* (2014). <https://es.scribd.com/document/569726831/Tratamiento-y-Depuracion-de-Las-Aguas-Residuales-Metcalf-Eddy-Editorial-Labor>
- Turbidity and Water | U.S. Geological Survey.* (n.d.). Retrieved January 27, 2026, from <https://www.usgs.gov/water-science-school/science/turbidity-and-water>
- Un botadero clandestino crecía en el Parque Nacional Cajas.* (n.d.). Retrieved August 3, 2025, from <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/botadero-clandestino-parque-nacional-cajas/>
- Understanding Laboratory Wastewater Tests: II. Solids (TS, TSS, TDS, TVS, TFS) | CAES Field Report.* (n.d.). Retrieved January 27, 2026, from <https://fieldreport.caes.uga.edu/publications/C1276/understanding-laboratory-wastewater-tests-ii-solids-ts-tss-tds-tvs-tfs/>
- UNEP - UN Environment Programme.* (2025). <https://www.unep.org/>
- U.S. Environmental Protection Agency | US EPA.* (2025, December 13). <https://www.epa.gov/>
- VERMIFILTRO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE USO DOMÉSTICO | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua | Gobierno | gob.mx.* (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.gob.mx/imta/articulos/vermifiltro-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-de-uso-domestico>

Vymazal, J., Greenway, M., Tonderski, K., Brix, H., & Mander, Ü. (2006). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Wetlands and Natural Resource Management*, 69–96. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-33187-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-33187-2_5)

WEF | Home. (n.d.). Retrieved January 9, 2026, from <https://www.wef.org/>

World Health Organization (WHO). (2025). <https://www.who.int/>

## ANEXOS

### Anexo 1. Encuestas realizadas en sitios de investigación

#### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 18 / 09 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

#### Información general del sitio

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Molino del puente	
Tipo de actividad principal	<input checked="" type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: _____ 701342 E ; 9687041 N	Coordenadas UTM.
Altitud (msnm)	Km 15	
Dirección / referencia		
Responsable del sitio	Nombre: Walter Guerrero Cargo: Encargado	
Contacto (teléfono/correo)	099 545 7234	

#### Infraestructura y generación de aguas residuales

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 3
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Especie cultivada: Trucha
Estima volumen diario de agua usada		___ L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input checked="" type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		___ L/día

**Manejo actual de las aguas residuales**

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input checked="" type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input checked="" type="checkbox"/> Otro: _____	
	<input type="checkbox"/> Bueno	
	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
Punto de descarga final identificado	<input checked="" type="checkbox"/> No aplica	
	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: _____
Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 19 / 08 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

**Información general del sitio**

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Llullushas	
Tipo de actividad principal	<input checked="" type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 706637 E; 9687569 N	Coordenadas UTM
Altitud (msnm)		
Dirección / referencia		
Responsable del sitio	Nombre: <u>Edgar Bueston</u> Cargo: <u>Propietario</u>	
Contacto (teléfono/correo)	0987693738	

**Infraestructura y generación de aguas residuales**

Ítem	Si / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: <u>2</u>
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> No	Especie cultivada: _____
Estima volumen diario de agua usada		___ L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
------	---------	---------------------------------------

Fuente de agua utilizada

Red pública

Captación propia

Otro: \_\_\_\_\_

Estima volumen diario de aguas residuales generadas

\_\_\_\_ L/día

**Manejo actual de las aguas residuales**

Ítem	Selección	Observaciones
------	-----------	---------------

Pozo séptico

Fosa séptica

Biodigestor

Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición

Lagunaje

Humedal

Descarga directa al río

Otro: \_\_\_\_\_

Bueno

Estado de funcionamiento del sistema (si existe)

Regular

Deficiente

No aplica

Punto de descarga final identificado

Sí  No

Descripción / coordenadas:

\_\_\_\_\_

Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)

Sí  No

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 18 / 09 / 2025.

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

#### Información general del sitio

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Escuela EGB María Guadalupe de la FE	
Tipo de actividad principal	<input type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input checked="" type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 306700 E; 9687346 N	Coordenadas UTM.
Altitud (msnm)		
Dirección / referencia		
Responsable del sitio	Nombre: <u>Vanessa Juca</u> Cargo: <u>Lider educativa</u>	
Contacto (teléfono/correo)	0998311860	

#### Infraestructura y generación de aguas residuales

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: <u>6</u>
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Especie cultivada: _____
Estima volumen diario de agua usada		____ L/día

Ítem	Si / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input checked="" type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		___ L/día

#### Manejo actual de las aguas residuales

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
	<input checked="" type="checkbox"/> Otro: _____	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input type="checkbox"/> Bueno	
	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
	<input type="checkbox"/> No aplica	
Punto de descarga final identificado	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: _____
Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No	

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 18 / 09 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

#### Información general del sitio

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Estación Piscícola ALCANTARAS	7 Trabajadores
Tipo de actividad principal	<input type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input checked="" type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 705732 E; 9689050 N	Coordenadas UTM.
Altitud (msnm)		
Dirección / referencia	Kilometro 18 - Via Cajas	Sector Chirimachay
Responsable del sitio	Nombre: Sr. Oscar Toledo Cargo: Administrador	
Contacto (teléfono/correo)	0979169364	

#### Infraestructura y generación de aguas residuales

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 3
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Especie cultivada: _____
Estima volumen diario de agua usada		____ L/día

Ítem	Si / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		____ L/día

#### Manejo actual de las aguas residuales

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input checked="" type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input checked="" type="checkbox"/> Otro: _____	
	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno	
	<input type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
Punto de descarga final identificado	<input type="checkbox"/> No aplica	
	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: Pisca de oxidación
	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 01 / 10 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

#### Información general del sitio

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Las Cajas	
Tipo de actividad principal	<input checked="" type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 704821E; 9689981N	Coordenadas UTM
Altitud (msnm)	3344 m	
Dirección / referencia	Vía al Cajas Km 19.2	
Responsable del sitio	Nombre: César Pacheco Cargo: Dueño	
Contacto (teléfono/correo)	0992961618.	

#### Infraestructura y generación de aguas residuales

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 5
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Especie cultivada: _____
Estima volumen diario de agua usada		___ L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input checked="" type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		___ L/día

#### Manejo actual de las aguas residuales

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo séptico <input type="checkbox"/> Fosa séptica <input type="checkbox"/> Biodigestor <input type="checkbox"/> Lagunaje <input type="checkbox"/> Humedal <input type="checkbox"/> Descarga directa al río <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Deficiente <input type="checkbox"/> No aplica	
Punto de descarga final identificado	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: _____
Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 04 / 10 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

**Información general del sitio**

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Cabanas el pescador	
Tipo de actividad principal	<input checked="" type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 30.4838 E; 96.89771 W	Coordenadas OTH.
Altitud (msnm)	3311 m	
Dirección / referencia	Via al cajas Km 19.2	
Responsable del sitio	Nombre: _____ Cargo: _____	
Contacto (teléfono/correo)		

**Infraestructura y generación de aguas residuales**

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 4
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Especie cultivada: _____
Estima volumen diario de agua usada		____ L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
------	---------	---------------------------------------

Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input checked="" type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
--------------------------	--	--

Estima volumen diario de aguas residuales generadas		___ L/día
---	--	-----------

#### Manejo actual de las aguas residuales

Ítem	Selección	Observaciones
------	-----------	---------------

Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
	<input type="checkbox"/> Otro: _____	

Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno	
	<input type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
	<input type="checkbox"/> No aplica	

Punto de descarga final identificado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: Ucumbamba
--------------------------------------	--	---

Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
--	--	--

-1

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 01 / 10 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

**Información general del sitio**

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	Dos charcas	
Tipo de actividad principal	<input type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input checked="" type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long.: 30.3839 E; 96.9191 2	
Altitud (msnm)	3428 m	
Dirección / referencia	Km 21 Cuenca - Molekhuo	
Responsable del sitio	Nombre: Guido Carrasco Cargo: Guante	
Contacto (teléfono/correo)		

**Infraestructura y generación de aguas residuales**

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 10
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Especie cultivada: Trucha
Estima volumen diario de agua usada		360 L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input type="checkbox"/> Captación propia <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>RÍO</u>	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		___ L/día

#### Manejo actual de las aguas residuales

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input checked="" type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input type="checkbox"/> Otro: _____	
	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno	
	<input type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
Punto de descarga final identificado	<input type="checkbox"/> No aplica	
	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: _____
Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	

### VISITA DE CAMPO

**Proyecto:** Caracterización de aguas residuales generadas por actividades turísticas en el entorno del Parque Nacional Cajas

**Fase:** Inspección inicial y levantamiento de información base

**Fecha:** 01 / 10 / 2025

**Equipo técnico:** \_\_\_\_\_

#### Información general del sitio

Ítem	Descripción	Observaciones
Nombre del establecimiento	La Pradera	
Tipo de actividad principal	<input checked="" type="checkbox"/> Restaurante / cafetería <input type="checkbox"/> Hostería / alojamiento <input type="checkbox"/> Centro recreativo <input type="checkbox"/> Actividad piscícola <input type="checkbox"/> Camping <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Coordenadas GPS (WGS84)	Lat.: _____ Long: _____	
Altitud (msnm)		
Dirección / referencia	Dos chancas	
Responsable del sitio	Nombre: Juana Gutiérrez Cargo: Dueño	
Contacto (teléfono/correo)	0983215280	

#### Infraestructura y generación de aguas residuales

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Dispone de baños públicos o para clientes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	N.º unidades: 1
Dispone de cocina / comedor	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de lavandería o áreas de lavado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
Dispone de piscinas / estanques piscícolas	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Especie cultivada: NO
Estima volumen diario de agua usada		____ L/día

Ítem	Sí / No	Detalles / Cantidades / Observaciones
Fuente de agua utilizada	<input type="checkbox"/> Red pública <input checked="" type="checkbox"/> Captación propia <input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estima volumen diario de aguas residuales generadas		____ L/día

**Manejo actual de las aguas residuales**

Ítem	Selección	Observaciones
Tipo de sistema actual de tratamiento o disposición	<input checked="" type="checkbox"/> Pozo séptico	
	<input type="checkbox"/> Fosa séptica	
	<input type="checkbox"/> Biodigestor	
	<input type="checkbox"/> Lagunaje	
	<input type="checkbox"/> Humedal	
	<input type="checkbox"/> Descarga directa al río	
	<input type="checkbox"/> Otro: _____	
Estado de funcionamiento del sistema (si existe)	<input checked="" type="checkbox"/> Bueno	
	<input type="checkbox"/> Regular	
	<input type="checkbox"/> Deficiente	
Punto de descarga final identificado	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No	Descripción / coordenadas: <u>Río</u>
	Evidencias de contaminación visible (olores, color, sólidos, etc.)	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No

## Anexo 2. Códigos en Matlab de cajas y bigotes de cada ensayo

### Alcalinidad

```
data = [  
349 118 224 275 500 276 92 465 92 56 181;  
438 446 193 282 500 276 92 465 133 67 258;  
343 500 257 352 500 385 178 500 157 378 378  
];  
  
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))  
xlabel('Punto de monitoreo')  
ylabel('Alcalinidad (mg/L)')  
title('Cajas y bigotes - Alcalinidad')  
grid on  
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===  
[archivo, carpeta] = uinputfile('*.png','Guardar figura como');  
  
if archivo ~= 0  
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);  
end
```

### Conductividad Compensada

```
data = [  
974 267 2214 766 1894 642 298 870 228 115 388;  
1631 1035 408 726 1947 733 427 1136 349 137 575;  
2398 2229 883 799 2003 1554 476 1276 363 215 837  
];  
  
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))  
xlabel('Punto de monitoreo')  
ylabel('Conductividad compensada ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )')  
title('Cajas y bigotes - Conductividad compensada')  
grid on  
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===  
[archivo, carpeta] = uinputfile('*.png','Guardar figura como');  
  
if archivo ~= 0  
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);  
end
```

### Conductividad Electrica

```
data = [  

```

```

1254 341 2872 980 2555 878 388 1247 320 156 530;
2186 1369 545 961 473 322 132 432 482 191 781;
3571 2591 780 1142 2827 2284 661 1953 509 296 1197
];
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Conductividad eléctrica (µS/cm)')
title('Cajas y bigotes - Conductividad eléctrica')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## DQO

```

data = [
6566 578 412 1122 899 373 1500 752 528 572 365;
7908 652 359 2674 2631 3932 13008 8601 2386 2554 4601;
1500 523 325 803 737 321 1263 596 0 0 240
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('DQO (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - DQO')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Nitrato

```

data = [
10 1.2 30 6.2 13.9 1.8 13.3 5.1 2.5 0.4 1.7;
12.7 6.1 3.2 4.3 27.9 3.6 15.2 14.2 2.1 0.5 2.6;
18.2 18.7 42 11.2 1.9 1.9 30 6.1 1.6 0.7 6.7
];
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')

```

```
ylabel('Nitrato (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - Nitrato')
grid on
```

## Nitrito

```
punto = 1:11;
data = [
12 14 15 11 24 5 8 98 78 78 81;
8 2 5 9 76 9 19 8 2 4 5;
2 19 12 0 48 13 153 0 3 1 13
];

boxplot(data(:), repelem(punto,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Nitrito (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - Nitrito rango alto')
grid on

carpeta = fullfile(getenv('USERPROFILE'),'Documents','TESIS');

if ~exist(carpeta,'dir')
    mkdir(carpeta)
end

ruta = fullfile(carpeta,'Nitrito_rango_alto_boxplot.png');
exportgraphics(gcf, ruta, 'Resolution', 300);
```

## Oxígeno Disuelto

```
data = [
21.28 14.53 22.16 3.6 36.2 3.93 3.59 3.7 3.55 3.31 3.02;
4.05 4.17 4.08 3.97 4.03 4.21 4.05 4 3.95 4.17 4.23;
4.62 4.58 18.75 6.95 6.41 6.75 5.72 6.99 5.88 5.04 6.37
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Oxígeno disuelto (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - Oxígeno disuelto')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');
```

```

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## pH

```

data = [
8.65 8.4 7.71 7.82 8.64 8.14 6 8.86 7.44 7.77 7.56;
7.72 8 8.84 7.84 9.01 8.06 5.7 8.49 7.44 7.09 7.64;
7.21 8.05 8.86 7.76 8.42 8.3 6.52 8.49 7.86 7.76 8.79
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('pH')
title('Cajas y bigotes - pH')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uinputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Potencial Redox

```

data = [
-84.5 -70.7 -32.1 -35.4 -83.3 -55.4 62.8 -94.6 -17.1 -35.1 -23.5;
-32.3 -48.1 -94.4 -39.3 -104.1 -51.4 79.4 -75.3 -17 2.6 -27.7;
-4.3 -51.7 -31.2 -34.1 -70.7 -63.5 33.7 -73.7 -39.9 -34.7 -91
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Potencial Redox (mV)')
title('Cajas y bigotes - Potencial Redox')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uinputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Presión

```
data = [  
12.514 12.51 12.512 11.605 11.92 11.906 11.861 11.816 11.728 11.713 11.809;  
11.614 11.619 11.613 11.619 11.617 11.616 11.616 11.615 11.611 11.61 11.614;  
11.601 11.606 11.615 11.603 11.604 11.6 11.6 11.6 11.6 11.602 11.597  
];  
  
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))  
xlabel('Punto de monitoreo')  
ylabel('Presión (psi)')  
title('Cajas y bigotes - Presión')  
grid on  
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===  
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');  
  
if archivo ~= 0  
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);  
end
```

## Salinidad

```
data = [  
0.63 0.16 1.5 0.40 1.33 0.44 0.19 0.63 0.15 0.07 0.26;  
1.13 0.69 0.27 0.48 1.35 0.49 0.28 0.75 0.23 0.01 0.39;  
1.89 1.35 1.2 0.57 1.48 1.18 0.32 1 0.25 0.14 0.6  
];  
  
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))  
xlabel('Punto de monitoreo')  
ylabel('Salinidad (PSU)')  
title('Cajas y bigotes - Salinidad')  
grid on  
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===  
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');  
  
if archivo ~= 0  
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);  
end
```

## Saturación

```
data = [  
240.3 164.6 249.4 42.8 41.3 44.1 42.3 40.1 39.4 37.9 34.1;
```

```

47.7 49.6 48 47.1 47.9 49.3 48 48.2 45 47.2 49;
49.8 61.7 180.6 77 72.3 73.2 65.1 73.1 66.1 57.5 70.5
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Saturación OD (%)')
title('Cajas y bigotes - Saturación de oxígeno')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Temperatura

```

data = [
13.24 13.53 13.07 10.5 11.38 10.84 12.83 9.09 9.81 11.14 10.9;
11.64 12.17 11.81 12.13 11.96 11.64 12.21 12.82 10.52 10.24 11.14;
7.73 17.65 11.57 9.22 9.67 8.19 10.33 6.82 9.85 10.59 9.18
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Temperatura (°C)')
title('Cajas y bigotes - Temperatura')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Turbidez

```

data = [
45.8 11 65 112 155 16.8 113 76.4 0.77 3.8 20.3;
504 59.7 20.2 122 103 29.4 456 261 0.83 4.38 96.2;
592 78.1 45.6 76.2 216 77.2 178 117 1.22 6.17 51.3
];
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')

```

```

ylabel('Turbidez (NTU)')
title('Cajas y bigotes - Turbidez')
grid on
% === ELEGIR DÓNDE GUARDAR (MANUAL) ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Solidos Totales

```

data = [
281940 267980 248060 261940 347960 296240 326840 348580 -40    259680 241580;
347980 296280 326820 460    348800 80    259820 241860 251820 1111480 1179960;
367820 277980 337900 83520 257240 135080 287600 445000 254300 1109440 977880
];

% (Opcional) eliminar negativos:
% data(data < 0) = NaN;

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Sólidos totales (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - ST')
grid on
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');
if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end

```

## Solidos Disueltos

```

data = [
141000 268000 248000 131000 348020 296300 163340 174260 200000 259640 241600;
174100 296480 326860 400 348780 200 259840 241860 251780 555800 589820;
183760 277900 337840 41670 128530 135000 143680 222420 254200 554660 677840
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Sólidos disueltos totales (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - SDT')
grid on

```

```
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');
if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end
```

## Solidos Suspendidos

```
data = [
70 80 60 70 40 60 80 30 40 40 80;
90 60 40 60 20 20 80 20 40 40 60;
150 80 60 90 90 80 120 80 100 120 40
];

% === TOMAR VALOR ABSOLUTO ===
data = abs(data);
boxplot(data(:), repelem(1:11,3))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('Sólidos suspendidos totales (mg/L)')
title('Cajas y bigotes - SST')
grid on
% === GUARDAR FIGURA ===
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');

if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end
```

## E. coli

```
data = [
18000  31000  24000  77000  40000  0  25000  2000  30000  1000
10000;
390000  210000  23000  260000  2800000  0  1800000  0  3800000  0  15000;
];

boxplot(data(:), repelem(1:11,2))
xlabel('Punto de monitoreo')
ylabel('E. coli (UFC/100 mL)')
title('Cajas y bigotes - E. coli')
grid on
[archivo, carpeta] = uiputfile('*.png','Guardar figura como');
if archivo ~= 0
    exportgraphics(gcf, fullfile(carpeta,archivo), 'Resolution',300);
end
```