



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA  
REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL  
BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA  
PROVINCIA DE COTOPAXI”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Espin Acosta Marco Omar

**Tutor:**

Moreno Ávila Andrés Sebastián

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo 2026**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Espin Acosta Marco Omar, con cédula de ciudadanía No. 0503189169, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero Mg. Andrés Sebastián Moreno Ávila, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Marco Omar Espin Acosta  
C.C: 0503189169  
**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MARCO OMAR ESPIN ACOSTA**, identificado con cédula de ciudadanía **0503189169** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2021 – Marzo 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Andrés Sebastián Moreno Ávila, Mg.

Tema: **“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Marco Omar Espin Acosta  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, de Espin Acosta Marco Omar, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Andrés Sebastián Moreno Ávila, Mg.  
C.C:0503220063  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Espin Acosta Marco Omar, con el título del Proyecto de Investigación: **“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Lic. Manuel Patricio Clavijo Cevallos,

Ph.D C.C: 0501444582

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Dra. Kalina Fonseca Largo, Ph.D.

C.C: 1723534457

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Ph.D

CC: 0502188451

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”.**

**Autor:**  
Espin Acosta Marco Omar

**RESUMEN**

La contaminación de suelos por arsénico (As) constituye una problemática ambiental y sanitaria de alta relevancia en el sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi, donde se registró una concentración inicial de 180.33 mg/kg, valor que supera significativamente el límite máximo permisible de 12 mg/kg establecido en el Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para suelos de uso agrícola en el Ecuador. Se evidenció un escenario de riesgo ambiental y productivo, en este contexto, la presente investigación tuvo como objeto evaluar la eficiencia de la quitina obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* como bioabsorbente para la remoción de arsénico en el suelo contaminado del sector Pintze Chico. El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental de laboratorio con enfoque cuantitativo y cualitativo, considerando un único tratamiento con aplicación de quitina y un testigo sin tratamiento, lo que permitió analizar el efecto directo del material bajo condiciones controladas. La quitina fue obtenida mediante procesos químicos de desproteínización y desmineralización controlados. Los resultados obtenidos evidenciaron la alta eficiencia de la quitina como bioabsorbente, alcanzando una eficiencia de remoción del 90.24 % lo que confirma la efectividad del material aplicado en el proceso de remediación. Se concluye que la quitina derivada de residuos piscícolas constituye una alternativa eficiente, sostenible y ambientalmente viable para la remediación de suelos agrícolas contaminados por arsénico.

**Palabras clave:** Biorremediación, Dinámica edáfica, Metales pesados, Resiliencia y Toxicidad ambiental

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME:** “ LABORATORY-LEVEL CHITIN EXTRACTION FOR THE REMOVAL OF ARSENIC FROM CONTAMINATED SOIL IN THE PINTZE CHICO NEIGHBORHOOD OF THE TOACASO PARISH IN THE PROVINCE OF COTOPAXI.”

**Author:**  
Espin Acosta Marco Omar

**ABSTRACT**

Arsenic (As) soil contamination is a highly significant environmental and health problem in the Pintze Chico sector, Toacaso parish, Cotopaxi province, where an initial concentration of 180.33 mg/kg was recorded, a value that significantly exceeds the maximum permissible limit of 12 mg/kg established in Annex 2 of Book VI of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment (TULSMA) for agricultural soils in Ecuador. An environmental and productive risk scenario was evident. In this context, the objective of this research was to evaluate the efficiency of chitin obtained from *Oncorhynchus mykiss* waste as a bio absorbent for the removal of arsenic in contaminated soil in the Pintze Chico sector. The study was conducted under a quantitative and qualitative laboratory experimental design, considering a single treatment with chitin application and untreated control, which allowed for the analysis of the direct effect of the material under controlled conditions. Chitin was obtained through controlled chemical processes of deproteinization and demineralization. The results obtained demonstrated the high efficiency of chitin as a bio absorbent, achieving a removal efficiency of 90.24%, which confirms the effectiveness of the material applied in the remediation process. It is concluded that chitin derived from fish waste is an efficient, sustainable, and environmentally viable alternative for the remediation of agricultural soils contaminated with arsenic.

**KEYWORDS:** Bioremediation, Soil dynamics, Heavy metals, Resilience, Environmental toxicity

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
3. JUSTIFICACIÓN .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
6. OBJETIVOS.....	7
6.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS .....	7
8. HIPÓTESIS .....	8
8.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL .....	8
8.2. HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ).....	9
8.3. HIPÓTESIS ALTERNATIVA ( $H_1$ ) .....	9
9. PREGUNTA CIENTÍFICA .....	9
10. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	9
10.1. METABOLITOS SECUNDARIOS.....	9
10.1.1. FLAVONOIDES .....	10
10.2. QUITINA.....	11
10.2.1. COMPOSICIÓN DE LA QUITINA.....	12
10.2.2. PROPIEDADES DE LA QUITINA .....	12
10.2.3. QUITINA EN EL AMBIENTE.....	15
10.2.4. EXTRACCIÓN DE QUITINA.....	15

10.2.5.	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA QUITINA .....	16
10.3.	SUELOS .....	16
10.3.1.	TIPOS DE SUELO .....	17
10.3.2.	COMPOSICIÓN DEL SUELO .....	18
10.4.	IMPORTANCIA DEL SUELO .....	20
10.5.	METALES PESADOS.....	21
10.5.1.	METALES PESADOS EN EL SUELO.....	21
10.5.2.	ARSÉNICO.....	22
10.6.	TRUCHA ARCOÍRIS ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	23
11.	MARCO LEGAL.....	24
11.1.	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	24
11.1.1.	ARTÍCULOS COMPETENTES AL ÁREA AMBIENTAL .....	24
11.2.	TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA).....	25
11.3.	CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA).....	25
11.4.	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL .....	26
11.5.	NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE A SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS EN EL ECUADOR.....	27
12.	METODOLOGÍA.....	28
12.1.	TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
12.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	28
12.1.2.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
12.1.3.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
12.2.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
12.2.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO .....	29
12.2.2.	ESQUEMA GENERAL DEL EXPERIMENTO .....	29
12.3.	ÁREA DE ESTUDIO .....	30
12.3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	30
12.3.2.	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL SECTOR PINTZE CHICO .....	31
12.3.3.	USO ACTUAL DEL SUELO .....	31
12.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
12.4.1.	POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	32
12.4.2.	TIPO DE MUESTREO.....	32

12.4.3.	TAMAÑO DE MUESTRA.....	32
12.4.4.	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS.....	33
12.5.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
12.5.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	34
12.5.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	34
12.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	34
12.6.1.	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN.....	34
12.6.2.	PRUEBAS ESTADÍSTICAS APLICADAS.....	37
12.6.3.	INDICADORES Y UNIDADES DE MEDIDA.....	38
12.7.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	39
12.7.1.	RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO.....	39
12.7.2.	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO.....	40
12.7.3.	OBTENCIÓN DE QUITINA A PARTIR DE <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> .....	41
12.7.4.	PREPARACIÓN DEL MATERIAL ABSORBENTE.....	43
12.7.5.	DISEÑO DEL TRATAMIENTO EXPERIMENTAL.....	43
12.7.6.	APLICACIÓN DE QUITINA EN LAS MUESTRAS DE SUELO.....	43
12.7.7.	TIEMPO DE CONTACTO Y CONDICIONES DEL ENSAYO.....	44
12.7.8.	DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POST TRATAMIENTO.....	45
12.8.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
12.8.1.	TÉCNICAS DE LABORATORIO EMPLEADAS.....	45
12.8.2.	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	46
12.8.3.	CONTROL DE CALIDAD ANALÍTICA.....	48
13.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
13.1.	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA QUITINA.....	49
13.1.1.	RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN.....	49
13.1.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA QUITINA OBTENIDA.....	50
13.1.3.	OBSERVACIONES RELEVANTES DEL PROCESO.....	50
13.2.	CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LOS SUELOS CONTAMINADOS.....	51
13.2.1.	CONCENTRACIÓN INICIAL DE ARSÉNICO.....	51
13.2.2.	COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE.....	51
13.3.	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO.....	52
13.3.1.	CONCENTRACIÓN FINAL DE ARSÉNICO EN LOS SUELOS TRATADOS.....	52

13.3.2.	COMPARACIÓN ENTRE CONDICIÓN INICIAL Y SUELO TRATADO CON QUITINA53	
13.3.3.	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO.....	54
13.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	56
13.4.1.	PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS.....	56
13.4.2.	INTERPRETACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA .....	56
13.5.	RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA .....	56
13.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
14.	CONCLUSIONES .....	58
15.	RECOMENDACIONES.....	59
16.	BIBLIOGRAFÍA .....	59
17.	ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del proyecto de investigación.....	5
<b>Tabla 2.</b> Matriz de objetivos específicos .....	7
<b>Tabla 3.</b> Tipos de suelos en Ecuador .....	18
<b>Tabla 4.</b> Composición de suelos.....	19
<b>Tabla 5.</b> Criterios de selección de los puntos de muestreo de suelos en el área de estudio .....	33
<b>Tabla 6.</b> Variable dependiente 1: Concentración de arsénico en el suelo.....	35
<b>Tabla 7.</b> Variable dependiente 2: Eficiencia de remoción de arsénico .....	36
<b>Tabla 8.</b> Variables de control.....	37
<b>Tabla 9.</b> Variables e indicadores utilizados para la evaluación de tratamiento de suelos contaminados con arsénico .....	39
<b>Tabla 10.</b> Concentración de arsénico en función del tiempo de contacto con quitina .....	44
<b>Tabla 11.</b> Materiales utilizados en el proceso de obtención de quitina .....	46
<b>Tabla 12.</b> Equipos utilizados en el proceso de obtención de quitina.....	47
<b>Tabla 13.</b> Reactivos utilizados en el proceso de obtención de quitina .....	48
<b>Tabla 14.</b> <i>Resultado del análisis de laboratorio acreditado por la SAE</i> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Relación entre la masa del material inicial y la masa de quitina obtenida en el proceso de extracción.....	50
<b>Figura 2.</b> Comparación entre la concentración inicial de arsénico y el límite máximo permisible .....	52
<b>Figura 3.</b> Variación de la concentración de arsénico en el suelo antes y después del tratamiento con quitina .....	54
<b>Figura 4.</b> Eficiencia de remoción de arsénico en el suelo tratado con quitina.....	55

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

Título

“OBTENCIÓN DE QUITINA A NIVEL DE LABORATORIO PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELOS CONTAMINADOS EN EL BARRIO PINTZE CHICO DE LA PARROQUIA TOACASO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”

## **2. INTRODUCCIÓN**

La acumulación e incremento de metales pesados en los suelos del mundo ha afectado una gran variedad de organismos y sistemas lo que ha generado un deterioro en la salud de los ecosistemas y se ha reflejado en la disminución, la productividad agrícola y ha impactado negativamente la salud de la población, metales pesados como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As) son un problema ambiental grave que afecta a quienes dependen de estos recursos para su subsistencia.

Hoy en día el sector industrial es uno de los principales causantes de contaminación ya que genera altas cantidades de residuos ya sean orgánicos e inorgánicos lo que se considera como una de las principales consecuencias del cambio climático, la industria pesquera especialmente obtiene impresionantes cantidades de residuos sólidos, en su mayoría los caparzones y exoesqueletos de los cuales aproximadamente solo el 5% se transforman en nuevos productos (Rosas-Quijano & Didiana, 2017).

Desde una perspectiva agrícola, la agricultura puede representar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente cuando se desarrolla en suelos contaminados. Existe la necesidad de implementar políticas públicas efectivas que aborden esta problemática desde múltiples enfoques tales como: educación ambiental, promoción de prácticas agrícolas sostenibles, deforestación de áreas afectadas, restauración de suelos e incluso el monitoreo constante de la calidad del agua y suelo (Hernández-García et al., 2024).

En la comunidad de Toacaso perteneciente a la provincia de Cotopaxi, la contaminación por arsénico (As) ha generado efectos adversos en la calidad del suelo especialmente los suelos para uso agrícola, ha sido posible evidenciar esta contaminación gracias a las concentraciones de Arsénico encontradas en los cultivos según estudios previos (Alvarez Agama, 2020). Este metal

puede afectar la estructura y fertilidad de los cultivos, reduciendo la capacidad para retener agua y nutrientes factores que se consideran esenciales para su crecimiento de manera saludable. Además, este metal pesado puede ser absorbido por las plantas lo que no solo afecta al rendimiento de las cosechas, sino que también lleva a la acumulación de este contaminante en la cadena alimentaria.

La quitina y sus derivados están siendo investigados y utilizados en técnicas de biorremediación mismas que emplean organismos vivos para la eliminación o neutralización de contaminantes, además, presenta gran potencial para ser utilizada como una solución viable para la remediación de suelos contaminados puesto que es un compuesto activo abundante en la naturaleza, puede ayudar en la absorción de metales pesados como el arsénico y sustancias tóxicas, mejorando las propiedades del suelo y promoviendo la recuperación de los ecosistemas, esto se debe a su estructura química junto con la presencia de grupos funcionales que tienen la capacidad de unirse a estos contaminantes y absorberlos. La aplicación de quitina en suelos contaminados mejora su estructura física al aumentar la actividad microbiana, la aireación y retención de agua en el suelo esencial para el crecimiento de las plantas. Su presencia en el suelo actúa como un aglutinante natural lo que promueve la formación de agregados estables, responsables de la generación de las características positivas mencionadas anteriormente.

La presente investigación adquiere gran relevancia al abordar una problemática ambiental crítica como es la contaminación de suelos por arsénico, orientada a la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes para la remediación de sitios contaminados. Una de las contribuciones más significativas del estudio radica en el aprovechamiento de residuos acuícolas, específicamente las escamas y estructuras óseas de trucha, como materia prima para la obtención de quitina. Este enfoque no solo permite desarrollar bioabsorbentes capaces de capturar y remover metales pesados de manera eficiente, sino que también fomenta la valorización de desechos orgánicos bajo un enfoque de economía circular. Asimismo, el principal aporte científico del trabajo consiste en la propuesta de un método innovador para la remediación de suelos contaminados por arsénico en la parroquia Toacaso, sentando bases técnicas y metodológicas para futuras investigaciones relacionadas con el uso de biopolímeros en procesos de biorremediación ambiental. Asimismo, el principal aporte científico del trabajo consiste en la propuesta de un método innovador para la remediación de suelos contaminados por arsénico en la parroquia Toacaso, sentando bases técnicas

y metodológicas para futuras investigaciones relacionadas con el uso de biopolímeros en procesos de biorremediación ambiental.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La contaminación de los suelos por arsénico constituye una de las principales problemáticas ambientales en zonas agrícolas, debido a su persistencia y a su capacidad de bioacumulación en los ecosistemas, lo que genera riesgos significativos para la salud humana, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental (Laoye et al., 2025). El arsénico en particular es considerado uno de los metales pesados de mayor toxicidad, debido a que puede permanecer activo en el suelo por décadas y ser absorbido por los cultivos, incorporándose a la cadena alimentaria (Rangel Montoya et al., 2015).

En la parroquia de Toacaso, provincia de Cotopaxi, se ha evidenciado la presencia de arsénico en suelos de uso agrícola asociada principalmente al uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos de origen industrial, lo que representa una amenaza directa para las comunidades rurales que dependen de la actividad agrícola como principal medio de subsistencia. A pesar de la existencia de normativas ambientales que establecen los límites máximos permisibles (TULSMA) para metales pesados en el suelo en la zona de estudio se han registrado concentraciones de arsénico que superan dichos valores (González Cadena, 2025), lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias de remediación eficaces y adaptadas al contexto.

Resulta indispensable el desarrollo de alternativas de remediación ambiental que sean sostenibles, de bajo costo y ambientalmente responsables. En este sentido, la quitina se presenta como un material prometedor para la remoción de arsénico, debido a su estructura química rica en grupos funcionales capaces de interactuar con iones metálicos, permitiendo su absorción e inmovilización en matrices ambientales. Diversos estudios e investigaciones han demostrado el potencial de la quitina y sus derivados como bioabsorbentes en procesos de remediación de suelos y aguas contaminadas (Issahaku et al., 2023).

La obtención de quitina a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* presenta una oportunidad para el aprovechamiento de desechos orgánicos provenientes de la actividad acuícola, contribuyendo a la reducción de impactos ambientales asociados a su disposición final y promoviendo principios de economía circular, este enfoque permite no solo valorizar un residuo

biológico, sino también generar un material con potencial aplicación ambiental, alineado con los principios de producción y consumo responsables.

Desde el ámbito académico y científico, la presente investigación aporta información local y actualizada sobre la eficiencia de la quitina en la remoción de arsénico en suelos contaminados, fortaleciendo las líneas de investigación en biorremediación y manejo sostenible del suelo en la parroquia Toacaso. Asimismo, los resultados obtenidos podrán servir como base para futuras investigaciones y para el diseño de estrategias de remediación ambiental aplicables en otras zonas con problemáticas similares, contribuyendo a la protección de los recursos naturales y a la mejora de la calidad de vida de las comunidades rurales.

Finalmente, este estudio se enmarca en los principios establecidos en la Constitución de la República del Ecuador y el Código Orgánico del Ambiente, que promueven la preservación de un ambiente sano y libre de contaminación, y se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), reafirmando su pertinencia social, ambiental y académica.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Los beneficiarios directos de la investigación son los habitantes del barrio Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi (Tabla 1), quienes dependen de la calidad del suelo para sus actividades agrícolas y ganaderas que se ven directamente afectadas por la contaminación de Arsénico. Asimismo, la Universidad Técnica de Cotopaxi, en particular la Carrera de Ingeniería Ambiental y la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, se beneficia mediante el fortalecimiento de las líneas de investigación en biorremediación, manejo sostenible del suelo y uso de biomateriales, sirviendo como base científica para futuros estudios. De manera indirecta, se benefician las demás comunidades rurales de la parroquia Toacaso cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi (Tabla 1) cuyas condiciones ambientales son similares, ya que podrán replicar las metodologías y resultados del estudio en procesos de remediación de suelos contaminados. Además, investigadores e instituciones públicas como el MAATE y el MAG podrán utilizar la información generada como insumo técnico para la gestión ambiental y el manejo sostenible del suelo.

**Tabla 1.** Beneficiarios del proyecto de investigación

<b>Tipo de beneficiario</b>	<b>Grupo poblacional</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Población estimada</b>
<b>Beneficiarios directos</b>	Habitantes del barrio Pintze Chico	Barrio Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi	250 habitantes (Pincha, 2019)
<b>Beneficiarios indirectos</b>	Población de la parroquia Toacaso	Parroquia Toacaso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi	11 037 habitantes (INEN, 2020)

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2025)

## 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El sector Pintze Chico perteneciente a la parroquia de Toacaso localizada en la provincia de Cotopaxi, enfrenta una problemática ambiental creciente relacionada con la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, principalmente arsénico (As). Diversos estudios han evidenciado que la presencia de estos contaminantes está asociada al uso intensivo y prolongado de insumos agroquímicos como fertilizantes y pesticidas, empleados en las actividades agrícolas desarrolladas en la zona (De la Cruz & Guano Caiza, 2025), estas prácticas han favorecido la acumulación progresiva de metales pesados en el suelo, alterando sus propiedades químicas y aumentando la persistencia de elementos potencialmente tóxicos en el ambiente.

Investigaciones recientes realizadas en la parroquia de Toacaso han determinado que las concentraciones de arsénico en el suelo superan los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), esta situación evidencia un escenario de contaminación ambiental que afecta de manera directa a los sistemas productivos locales, además, se ha identificado que cultivos de importancia agrícola y alimentaria como el maíz, la alfalfa y la zanahoria presentan las mayores concentraciones de metales pesados en sus raíces (David & Sebastian, 2024). La acumulación de este metal pesado en los suelos agrícolas representa un problema de alta relevancia ambiental y social, debido a su carácter persistente, no biodegradable y a su capacidad de bioacumulación. El arsénico, en particular es reconocido por su toxicidad y por los efectos adversos que puede generar en la salud humana incluso en bajas concentraciones, cuando la exposición ocurre de manera continua. La

absorción de este contaminante por los cultivos destinado al consumo humano y animal aumenta el riesgo de afectaciones crónicas a la salud de la población local, además de comprometer la calidad e inocuidad de los productos agrícolas comercializados en la región.

Asimismo, la presencia de este metal pesado en el suelo afecta negativamente la fertilidad edáfica, la actividad biológica y la productividad agrícola, generando un deterioro progresivo del recurso suelo y una disminución de su capacidad para sostener sistemas productivos sostenibles (Gupta et al., 2022) , esta problemática no solo impacta al ambiente natural, sino que también incide en el bienestar socioeconómico de las comunidades que dependen directamente de la agricultura como principal fuente de sustento. En este contexto la contaminación por metales pesados en el sector Pintze Chico constituye una problemática ambiental compleja que involucra factores agrícolas, ambientales y de salud pública, la falta de información detallada y de estudios específicos a escala local limita la comprensión integral del problema y dificulta la toma de decisiones técnicas y ambientales orientadas a la gestión adecuada del suelo y la protección de la salud de la población.

Ante este escenario de contaminación por arsénico en suelos agrícolas del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, y considerando las limitaciones técnicas, económicas y ambientales asociadas a los métodos convencionales de remediación, surge la necesidad de evaluar alternativas sostenibles que permitan mitigar la presencia de este contaminante bajo condiciones locales. En este contexto, la quitina, obtenida a partir de residuos orgánicos de origen piscícola, se presenta como un material con potencial bioabsorbente debido a la presencia de grupos funcionales capaces de interactuar con especies metálicas. No obstante, el comportamiento de la quitina frente a la remoción de arsénico en matrices edáficas reales, particularmente en suelos volcánicos, requiere ser evaluado experimentalmente. Por ello, el presente estudio se orienta a analizar la capacidad de la quitina extraída de *Oncorhynchus mykiss* para reducir la concentración de arsénico en suelos contaminados, aportando información técnica local que permita comprender su alcance y limitaciones como alternativa de remediación ambiental.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de la quitina obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* en la remoción de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi.

### 6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener quitina a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* mediante un proceso químico controlado a nivel de laboratorio.
- Caracterizar físico-químicamente los suelos del sector Pintze Chico, determinando la concentración inicial de arsénico.
- Determinar la eficiencia de remoción de arsénico en los suelos tratados con quitina, comparando las concentraciones antes y después del tratamiento.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS

**Tabla 2.** Matriz de objetivos específicos

Sistematización de los objetivos específicos			
Objetivos	Actividades	Metodología	Resultados
Obtener quitina a partir de residuos de <i>Oncorhynchus mykiss</i> para su uso como material absorbente	Obtención de quitina Preparación de la materia prima Acondicionamiento del material obtenido	Método: Experimental, cuantitativo y descriptivo Técnica: Preparación de muestras y procesos de desmineralización y desproteización Instrumentos: Equipos y material de laboratorio, reactivos químicos, equipos de secado	Obtención de quitina con características físicas adecuadas para su aplicación experimental Disponibilidad de material absorbente para los ensayos

Caracterizar físico-químicamente los suelos del sector Pintze Chico, determinando la concentración inicial de arsénico	Caracterización del suelo contaminado  Recolección de muestras de suelo	Método:  Cuantitativo, descriptivo y analítico  Técnica: Muestreo de suelos y análisis en laboratorio  Instrumentos:  Equipos de muestreo, recipientes de almacenamiento, equipos analíticos de laboratorio	Determinación de la concentración inicial de arsénico  Establecimiento de la línea base de contaminación
Determinar la eficiencia de remoción de arsénico en los suelos tratados con quitina, comparando las concentraciones antes y después del tratamiento	Ensayos de remoción de arsénico  Cálculo de eficiencia de remoción  Aplicación de quitina al suelo contaminado	Método:  Experimental, cuantitativo y comparativo  Técnica: Ensayos de absorción en suelo y análisis químico  Instrumentos:  Equipos de laboratorio, material volumétrico, equipos de análisis	Determinación de la eficiencia de remoción de arsénico mediante quitina  Evaluación del comportamiento del absorbente  Proyección de condiciones optimizadas para alcanzar altas eficiencias de remoción

---

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2025)

## 8. HIPÓTESIS

### 8.1. HIPÓTESIS PRINCIPAL

La aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de *Oncorhynchus mykiss* reduce la concentración de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi.

## **8.2. HIPÓTESIS NULA (H<sub>0</sub>)**

La aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de *Oncorhynchus mykiss* no genera una reducción en la concentración de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi.

## **8.3. HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H<sub>1</sub>)**

La aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de *Oncorhynchus mykiss* genera una reducción en la concentración de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi.

## **9. PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿La aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de *Oncorhynchus mykiss* reduce la concentración de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi?

## **10. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA**

### **10.1. METABOLITOS SECUNDARIOS**

Son compuestos orgánicos producidos por los organismos vivos que a diferencia de los metabolitos primarios no son esenciales para la supervivencia inmediata del organismo, pero cumplen funciones ecológicas importantes como la defensa frente a depredadores, patógenos o competencia ambiental (Sánchez, 2022). En el ámbito de la biotecnología y la remediación ambiental estos compuestos han adquirido relevancia debido a sus propiedades bioquímicas específicas, incluyendo la capacidad de quelar metales pesados, inhibir microorganismos patógenos y participar en procesos de bioabsorción (Deng et al., 2025).

Los metabolitos secundarios son biomoléculas orgánicas con estructuras químicas complejas, sintetizadas a partir de rutas metabólicas especializadas derivadas de los metabolitos primarios su formación se basa en la modificación de aminoácidos, carbohidratos, lípidos y ácidos orgánicos, mediante reacciones de acetilación, desaminación, ciclación, metilación, oxidación y glicosilación, lo que da origen a compuestos altamente funcionalizados que contienen grupos reactivos como hidroxilos (-OH), amino (-NH<sub>2</sub>), carboxilos (-COOH), carbonilos (C=O), metoxilos (-O-CH<sub>3</sub>) y amidas (-CONH<sub>2</sub>), la presencia de estos grupos funcionales confiere a los

metabolitos secundarios una gran diversidad estructural y propiedades químicas específicas como capacidad quelante, absorbente, antioxidante y antimicrobiana(Deng et al., 2025).

La quitina aunque no pertenece al grupo de los metabolitos secundarios debido a que es un polisacárido estructural derivado del metabolismo primario resulta esencial para la conformación del exoesqueleto de artrópodos y de la pared celular en hongos, su papel puede vincularse funcionalmente con los metabolitos secundarios dentro de procesos biológicos y biotecnológicos enfocados en la remediación ambiental, la relación se establece debido a que ambos tipos de compuestos, a pesar de su diferente origen biosintético pueden actuar de forma sinérgica en la interacción con contaminantes especialmente metales pesados presentes en el suelo.

A nivel de laboratorio, la obtención de quitina permite su uso como agente de biorremediación en suelos contaminados esto debido a su capacidad para unirse a metales pesados como el arsénico, plomo, cadmio y mercurio, favoreciendo su extracción o inmovilización, es importante recalcar que la eficacia de la quitina en la remoción de estos contaminantes depende tanto de su pureza, grado de desacetilación y las condiciones químicas y físicas del medio donde se aplica.

En investigaciones orientadas a la restauración ambiental de suelos como los del barrio Pintze Chico, la utilización de quitina representa una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental (Grifoll et al., 2024). La producción de este biopolímero a partir de fuentes biológicas locales no solo aprovecha subproductos orgánicos, sino que también incorpora principios de economía circular al transformar residuos en recursos funcionales para la descontaminación del suelo, además, los metabolitos secundarios presentes en las matrices biológicas utilizadas pueden mejorar la actividad absorbente de la quitina, optimizando su desempeño frente a la contaminación por metales pesados.

### **10.1.1. FLAVONOIDES**

Los flavonoides son un grupo importante de metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en las plantas, químicamente, corresponden a compuestos polifenólicos derivados de la ruta biosintética del ácido shikímico y la vía del fenilpropanoide, caracterizados por poseer una estructura de 15 carbonos organizada en tres anillos (Zheng et al., 2025).

Estos compuestos participan en múltiples procesos fisiológicos como la defensa antioxidante, la protección frente a radiación UV, la interacción planta microorganismo y la detoxificación de sustancias tóxicas como el arsénico (Rodríguez et al., 2023). En el contexto de los suelos agrícolas contaminados del sector del río Blanco, la presencia de flavonoides constituye un mecanismo natural de defensa de las plantas ante la acumulación de arsénico (As). Varios estudios han demostrado que los flavonoides actúan como agentes quelantes, es decir, poseen la capacidad de unirse a iones metálicos tóxicos mediante sus grupos hidroxilo fenólicos, reduciendo su movilidad y toxicidad dentro del tejido vegetal (Ekalu & Habila, 2020), esta propiedad convierte a los flavonoides en aliados bioquímicos de los ecosistemas expuestos a contaminación metálica prolongada.

Dentro de los mecanismos naturales de defensa que poseen los ecosistemas expuestos a contaminación por metales pesados, los flavonoides y la quitina representan dos componentes biológicos que actúan de forma complementaria en procesos de detoxificación y protección ambiental, aunque provienen de organismos y rutas bioquímicas completamente diferentes. La quitina, un biopolímero estructural presente en las escamas de peces como la trucha arcoíris materia prima empleada en esta investigación cumple un rol ambiental complementario mediante un mecanismo distinto: actúa como un bioabsorbente natural, capaz de retener arsénico gracias a sus grupos amino (-NH<sub>2</sub>) y hidroxilo (-OH), estos grupos funcionales permiten la absorción superficial y disminuyen la movilidad de este metal pesado en el suelo (Shirai, 2024), contribuyendo a la recuperación y mejoramiento de la calidad del ecosistema.

Aunque su origen es diferente, ambos compuestos convergen en una misma función ecológica como la inmovilización y neutralización de sustancias tóxicas en el ambiente donde los flavonoides operan desde la fisiología vegetal, mientras que la quitina actúa externamente sobre la matriz del suelo, esta interacción genera un proceso de remediación más eficiente, ya que los flavonoides liberados por las raíces pueden estimular la actividad microbiana, favoreciendo la biodegradación parcial de la quitina y potenciando la formación de derivados como el quitosano, el cual presenta aún mayor afinidad por los metales pesados.

## **10.2. QUITINA**

La quitina es un polisacárido estructural de origen natural compuesto por unidades repetidas de N-acetil-D-glucosamina, un derivado de la glucosa, unidas mediante enlaces  $\beta$ -(1→4)

(Guerreo & Baena, 2024). Esta configuración molecular le confiere una estructura altamente organizada, rígida y cristalina, característica que explica su elevada resistencia mecánica y su baja solubilidad en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos (Knidri et al., 2020). Es el segundo biopolímero más abundante del planeta, después de la celulosa, y se encuentra principalmente en los exoesqueletos de artrópodos, en la pared celular de hongos y en estructuras protectoras de diversos organismos acuáticos, la quitina presenta diferentes formas cristalinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  que varían en función de la orientación de sus cadenas, siendo la  $\alpha$ -quitina la más estable y la más común en la naturaleza.

### 10.2.1. COMPOSICIÓN DE LA QUITINA

La quitina es un polisacárido natural que pertenece al grupo de los polisacáridos nitrogenados y está formada principalmente por unidades repetitivas de N-acetil-D-glucosamina, un derivado de la glucosa con un grupo acetilo unido al nitrógeno del carbono 2, la unidad monomérica de la quitina posee la fórmula  $(C_8H_{13}O_5N)_n$  donde n indica el número de unidades repetitivas, sus unidades se unen mediante enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) lo que le confiere gran rigidez, resistencia e insolubilidad, mismos que, se asemejan a los enlaces de la celulosa (Escorial, 2022).

La composición de la quitina es fundamental para la formación de exoesqueletos de artrópodos, paredes celulares de hongos y algunas algas, gracias a esta composición es que la quitina proporciona rigidez, resistencia mecánica y estabilidad química, permitiendo a estos organismos mantener su integridad estructural, protegerse de agresiones externas y sostener sus tejidos frente a presiones físicas y ambientales (Administrador, 2024). En procesos de biorremediación, estos grupos funcionales actúan como sitios activos donde los iones metálicos se adhieren por intercambio iónico, quelación o complejación, permitiendo su eliminación de los suelos contaminados.

### 10.2.2. PROPIEDADES DE LA QUITINA

#### 10.2.2.1. *Mecánicas*

La quitina presenta una resistencia a la tracción excepcional alcanzando hasta 10.07 GPa en la dirección cristalina (Salavati, 2023), lo que la hace adecuada para aplicaciones estructurales exigentes. La incorporación de quitosano mejora su ductilidad, equilibrando rigidez y flexibilidad en biocompuestos lo que ha despertado un gran interés debido a sus propiedades mecánicas únicas y a sus posibles aplicaciones en bioingeniería, ciencia de materiales y tecnología ambiental, es

decir, la quitina es un o material ligero pero resistente, con una alta tensión de ruptura y una notable elasticidad cuando se encuentra en forma de película o fibra, en su estado sólido, presenta dureza moderada y gran resistencia a la abrasión lo que la hace idónea para procesos prolongados de absorción en sistemas naturales o experimentales (Pakizeh et al., 2021).

#### 10.2.2.2. Químicas

Al ser un polisacárido aminado con grupos amino y acetil que permiten su modificación química la desacetilación parcial convierte a la quitina en quitosano, un material más soluble y funcional, esto permite la absorción de metales pesados en soluciones acuosas mediante la formación de complejos con los grupos amino, lo que la hace útil en tratamientos ambientales y bioremediación (Guerreo & Baena, 2024)

Los principales grupos funcionales responsables de las propiedades químicas de la quitina son:

- Grupo amino (-NH<sub>2</sub>): actúa como sitio activo para reacciones de protonación, desprotonación o quelación de iones metálicos.
- Grupo acetamido (-NHCOCH<sub>3</sub>): confiere estabilidad química y capacidad de formar puentes de hidrógeno con moléculas polares.
- Grupo hidroxilo (-OH): permite la formación de enlaces de hidrógeno y reacciones de sustitución o esterificación.

La presencia de estos grupos funcionales hace que la quitina sea un material anfótero capaz de comportarse como ácido débil y como base débil dependiendo del pH del medio, esta característica es crucial en los procesos de absorción iónica ya que los grupos amino pueden protonarse (-NH<sub>3</sub>)<sup>+</sup> en un medio ácido generando cargas positivas que interactúan con aniones o compuestos metálicos cargados negativamente. Aunque la quitina es químicamente estable puede reaccionar bajo condiciones controladas para modificar su funcionalidad entre las reacciones más relevantes se encuentran:

- Desacetilación: proceso en el que se eliminan los grupos acetilo mediante tratamiento con soluciones alcalinas (como NaOH), obteniendo quitosano, su derivado más soluble y reactivo.

- Esterificación y eterificación: reacciones que permiten introducir nuevos grupos funcionales para mejorar su capacidad de intercambio iónico o su solubilidad.
- Oxidación: la quitina puede oxidarse parcialmente para generar grupos carbonilo adicionales, aumentando su afinidad por iones metálicos.
- Quelación: los grupos amino pueden formar complejos estables con iones metálicos ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ), lo que constituye el principio químico fundamental de su uso en la remoción de contaminantes.

#### 10.2.2.3. *Biológicas*

Una de las principales propiedades biológicas de la quitina es su biodegradabilidad natural, es degradado por una amplia variedad de microorganismos especialmente por bacterias y hongos que secretan enzimas específicas llamadas quitinasas, estas enzimas descomponen las cadenas de quitina en monómeros más simples como la N-acetilglucosamina que puede ser utilizada como fuente de carbono y nitrógeno por la microflora del suelo (Jia et al., 2024), este proceso de degradación favorece la actividad biológica del suelo aumentando la biomasa microbiana y estimulando ciclos biogeoquímicos esenciales para la fertilidad.

La presencia de quitina en el suelo actúa también como bioestimulante natural ya que se ha demostrado que la adición de quitina y sus derivados promueven el desarrollo de microorganismos benéficos tales como actinomicetos, trichodermas y bacterias rizosféricas que contribuyen a la supresión de patógenos y al biocontrol de enfermedades agrícolas (Dave et al., 2021).

#### 10.2.2.4. *Físicas*

Las propiedades físicas de la quitina están directamente relacionadas con su estructura molecular y su origen biológico ya que estas características determinan su comportamiento en procesos de extracción, purificación y aplicación ambiental. La quitina, como biopolímero natural, presenta una combinación de resistencia, rigidez, estabilidad térmica y bajo peso molecular que la convierten en un material versátil y ecológicamente compatible.

En su forma natural la quitina se presenta como un sólido blanco opaco o ligeramente amarillento puede tener un aspecto fibroso y cristalino que posee una textura similar a la de la celulosa, pero con un brillo perlado característico debido a su estructura altamente ordenada

(Guerreo & Baena, 2024). Una vez purificada, la quitina puede transformarse en polvo fino o tipo masa dependiendo del proceso de molienda y secado aplicado, una de las propiedades físicas más distintivas de la quitina es su insolubilidad en agua, alcoholes, éteres y solventes orgánicos comunes, esta característica se debe a la presencia de múltiples puentes de hidrógeno que refuerzan su red cristalina, sin embargo, puede solubilizarse parcialmente o modificarse químicamente mediante procesos de desacetilación, lo que da origen al quitosano, su derivado más soluble y ampliamente utilizado en soluciones acuosas para remediación ambiental, la insolubilidad de la quitina le otorga estabilidad en el medio natural, evitando su disolución y permitiendo su uso prolongado en contacto con el suelo y el agua sin degradarse de manera inmediata (Romero-Serrano & Pereira, 2020).

La quitina presenta una alta capacidad de absorción de agua, característica que varía según su grado de pureza y estructura gracias a su superficie micro porosa que le permite absorber humedad y actuar como un material higroscópico, lo que contribuye a su eficacia en procesos de absorción de iones metálicos, la capilaridad interna y la porosidad natural aumentan el área de contacto con los contaminantes del suelo, mejorando la eficiencia del proceso de retención de arsénico.

### **10.2.3. QUITINA EN EL AMBIENTE**

La quitina es un biopolímero presente en microbios, plantas, hongos, varias especies de algas y el exoesqueleto de los insectos y crustáceos (Díez, 2025), se utiliza en diversos campos ambientales, como el tratamiento de aguas, atención sanitaria y los agroquímicos, gracias a su naturaleza biodegradable. Sus propiedades no tóxicas la hacen valiosa para las prácticas sostenibles como la producción de fertilizantes orgánicos que promueven el crecimiento de las plantas al fomentar la actividad microbiana beneficiosa para el suelo además, la quitina y sus derivados mejoran la capacidad de las plantas para resistir el estrés biótico y abiótico ayudando a sus mecanismos de defensa lo que los protege de patógenos y desafíos ambientales (ControlBio, 2025). En el medio oceánico la quitina es el polímero renovable más abundante constituyendo una gran fuente de carbono y nitrógeno para los organismos marinos (Salas et al., 2017).

### **10.2.4. EXTRACCIÓN DE QUITINA**

Al ser un compuesto polisacárido y encontrarse unido covalentemente a otros compuestos es necesario la aplicación de métodos de separación para la obtención de quitina y su purificación

(Izadi et al., 2025). En varios artículos e investigaciones la extracción de quitina comprende pasos como obtención de la materia prima (exoesqueletos, huesos, insectos entre otros), lavado, secado, trituración, agregado de una solución ácida, filtración entre otros pasos independiente del origen de extracción. La extracción química es la técnica principal para la extracción y preparación de quitina y quitosano específicamente de caparzones y esqueletos (Kaur & Dhillon, 2013).

#### **10.2.5. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA QUITINA**

Su proceso de absorción involucra mecanismos físicos y químicos simultáneos, los cuales se ven influenciados por el pH, la temperatura, la concentración del contaminante y las características del material. Estudios previos revelan que, en un medio ácido los grupos amino se protonan ( $-\text{NH}_3^+$ ) y atraen aniones o especies metálicas negativas mientras que, en un medio neutro o básico, los grupos amino se desprotonan ( $-\text{NH}_2$ ), facilitando la coordinación con cationes metálicos (Roy et al., 2017).

El proceso se basa principalmente en la formación de complejos estables entre los iones metálicos y los electrones libres de los grupos amino o carbonilo lo que logra inmovilizar el metal en la matriz polimérica, evitando su movilidad y su disponibilidad biológica en el suelo. De forma complementaria la quitina también puede retener contaminantes mediante fuerzas de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas y enlaces de hidrógeno, lo que amplía su rango de eficacia frente a diferentes tipos de metales y condiciones ambientales (Ondarse, 2024).

### **10.3. SUELOS**

El suelo es un sistema físico químico altamente heterogéneo constituido por una matriz tridimensional en la que interactúan fracciones minerales, materia orgánica, solución del suelo, fase gaseosa y una comunidad microbiana activa (Muñoz, 2023). Desde una perspectiva edafológica, se lo considera un cuerpo natural dinámico, resultado de procesos de meteorización física, química y biológica que transforman el material parental a lo largo del tiempo, generando horizontes con propiedades diferenciadas.

La caracterización del suelo adquiere relevancia debido a su papel como receptor y reservorio de compuestos potencialmente tóxicos, especialmente metales pesados como Pb, Cd y As (Ibáñez, 2020). La interacción entre estos metales y las fases del suelo determina procesos de absorción, complejación, precipitación, movilidad y biodisponibilidad, aspectos que controlan su transporte y el riesgo asociado para los organismos.

### **10.3.1. TIPOS DE SUELO**

Los suelos son el resultado de un proceso natural de formación que puede durar cientos o miles de años, influenciado por factores como el clima, el material parental, la topografía, el tiempo y la actividad biológica (Geoscan, 2025). Estas variables dan origen a una gran diversidad de tipos de suelos, cada uno con características físicas, químicas y biológicas particulares que determinan su fertilidad, su uso potencial y su capacidad de resiliencia frente a contaminantes.

Ecuador, por su ubicación geográfica y su topografía diversa, presenta una notable variedad de suelos, desde los de origen volcánico en la Sierra hasta los suelos aluviales de la Costa y los suelos lateríticos de la Amazonía. En la provincia de Cotopaxi, y particularmente en la parroquia Toacaso, predominan los suelos andinos de origen volcánico, ricos en materia orgánica y minerales, pero con una alta susceptibilidad a la erosión y a la contaminación por arsénico derivado de las prácticas agrícolas intensivas (Galarza Baño, 2020).

Según la FAO (2023) y el Sistema Mundial de Referencia para los Recursos del Suelo (WRB), los suelos pueden clasificarse en diferentes grupos principales. A continuación, se describen los más representativos y su relación con las condiciones de la zona de estudio:

**Tabla 3. Tipos de suelos en Ecuador**

Tipo de suelo (WRB/FAO)	Descripción general	Características principales	Distribución en Ecuador / Toacaso
Andosoles	Suelos formados a partir de materiales volcánicos recientes.	Alta porosidad, baja densidad aparente, gran retención de fósforo y materia orgánica; fértiles pero frágiles frente a la erosión.	Predominan en la Sierra ecuatoriana, especialmente en zonas cercanas al volcán Cotopaxi.
Cambisoles	Suelos jóvenes con horizonte incipiente de formación.	Buena estructura, moderada capacidad de retención de humedad y fertilidad media; aptos para cultivos anuales.	Presentes en zonas agrícolas intermedias de Toacaso, con pendientes suaves.
Phaeozems	Suelos oscuros ricos en humus.	Alta fertilidad, buen drenaje y alta capacidad de intercambio catiónico; sensibles a la pérdida de materia orgánica.	En áreas de cultivo y pastizales; comunes en la Sierra central.
Leptosoles	Suelos delgados con escasa profundidad.	Limitada retención de agua, escaso desarrollo radicular, vulnerables a la erosión.	Zonas altas y montañosas, con pendientes pronunciadas.
Fluvisoles	Suelos formados por depósitos recientes de ríos.	Textura variable, buen drenaje y alta fertilidad inicial.	En zonas ribereñas y valles cercanos.
Vertisoles	Suelos con alto contenido de arcillas expansivas.	Alta capacidad de retención de agua, pero tendencia a agrietarse al secarse.	Más comunes en regiones bajas del Ecuador; poco frecuentes en Cotopaxi.
Histosoles	Suelos orgánicos formados por acumulación de materia vegetal.	Muy ricos en carbono, pero pobres en minerales; frecuentes en zonas húmedas o pantanosas.	En páramos o zonas frías de alta montaña.

*Nota.* Fuente: FAO (2023), INEN (2025)

### 10.3.2. COMPOSICIÓN DEL SUELO

El suelo es un sistema natural complejo y dinámico que resulta de la interacción continua entre los componentes minerales, orgánicos, hídricos, gaseosos y biológicos a lo largo del tiempo,

su composición varía según factores como el clima, el material parental, el relieve, la vegetación y las actividades humanas, lo que determina su estructura, fertilidad y capacidad de sustentar la vida vegetal (Rodríguez-Delgado et al., 2025).

Según la FAO el comprender la composición del suelo es esencial para analizar cómo los metales pesados se incorporan, movilizan o retienen en el suelo.

**Tabla 4.** *Composición de suelos*

<b>Composición</b>	<b>Porcentaje promedio</b>	<b>Descripción</b>
Materia mineral	45 %	Deriva de la meteorización de rocas; proporciona estructura, textura y minerales esenciales.
Materia orgánica	5 %	Proveniente de restos vegetales y animales en descomposición; mejora la fertilidad y retención de nutrientes.
Agua del suelo	25 %	Forma parte de la fase líquida; disuelve nutrientes y participa en reacciones químicas y biológicas.
Aire del suelo	25 %	Ocupa los poros no saturados de agua; permite la respiración de raíces y microorganismos.

*Nota.* Fuente: FAO (2023)

#### *10.3.2.1. Materia mineral del suelo*

La fase mineral integra la base estructural del suelo y está formada principalmente por partículas inorgánicas que se clasifican según su tamaño en arena, limo y arcilla donde:

La arena aporta porosidad y facilita la aireación.

El limo contribuye a la retención de agua y nutrientes.

La arcilla, compuesta por filosilicatos, óxidos de hierro, aluminio y magnesio, tiene una alta capacidad de intercambio catiónico, es decir, puede retener iones cargados como el arsénico.

Los minerales más comunes en el suelo son: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), feldespatos, carbonatos, óxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aluminosilicatos y minerales arcillosos como la caolinita, illita y montmorillonita, todos ellos con capacidad de interactuar químicamente con el arsénico y nutrientes (Tome et al., 2024).

#### 10.3.2.2. *Materia orgánica*

La materia orgánica del suelo está compuesta por restos vegetales y animales en distintos grados de descomposición, así como por microorganismos vivos y sus productos metabólicos. Este componente desempeña un papel clave en el mantenimiento de la fertilidad y en la retención de contaminantes, influye directamente en la movilidad del arsénico, puede inmovilizarlo mediante complejación, o en algunos casos movilizarlo si se forman compuestos solubles es por ello por lo que, en los suelos contaminados el equilibrio entre materia orgánica y minerales arcillosos determina el grado de toxicidad y biodisponibilidad de este metal (Julca-Otiniano et al., 2006).

#### 10.3.2.3. *Agua del suelo*

La fase líquida o solución del suelo está constituida por el agua y los solutos disueltos como nutrientes, sales y contaminantes, representa el medio donde ocurren la mayoría de las reacciones químicas y biológicas (CienciaS, 2020). Especialmente en los suelos contaminados por arsénico, esta fase juega un papel crucial, ya que determina la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes. La introducción de materiales absorbentes, como la quitina, puede modificar esta dinámica, reduciendo la solubilidad de los metales mediante la formación de complejos insolubles por las características mencionadas anteriormente.

#### 10.3.2.4. *Aire del suelo*

El aire del suelo ocupa los poros no saturados por agua y está compuesto principalmente por oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>)(Cherlinka, 2021), depende del tipo de suelo, su grado de compactación y la actividad biológica, una adecuada aireación es esencial para la respiración radicular y microbiana, procesos que regulan la disponibilidad de nutrientes y la transformación química de metales, la falta de oxígeno o condiciones anaeróbicas en el suelo puede generar la reducción química de metales pesados como el arsénico, lo que cambia su solubilidad y toxicidad (Ibáñez, 2018). Por tanto, el equilibrio entre aire y agua en los poros del suelo influye directamente en la forma química en la que se encuentran el arsénico.

### 10.4. **IMPORTANCIA DEL SUELO**

El suelo constituye uno de los recursos naturales más valiosos para la vida terrestre su uso adecuado garantiza la seguridad alimentaria, la preservación ambiental y el equilibrio ecológico de los ecosistemas es así que cuando se gestiona de forma inadecuada, el suelo puede degradarse, perder su fertilidad y convertirse en un vector de contaminación.

El estudio de los usos del suelo permite comprender cómo las actividades humanas modifican sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y de qué manera pueden aplicarse estrategias sostenibles como la biorremediación con quitina para restaurar su funcionalidad y productividad (Kopittke et al., 2019).

## **10.5. METALES PESADOS**

Los metales pesados constituyen uno de los principales contaminantes del suelo y del ambiente en general debido a su toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación. A diferencia de los contaminantes orgánicos, estos elementos no se degradan fácilmente y tienden a acumularse en los tejidos vivos, alterando las funciones fisiológicas de plantas, animales y seres humanos. En las últimas décadas, la contaminación por metales pesados se ha convertido en un problema ambiental y de salud pública a escala global, estrechamente vinculado con la expansión industrial, minera y agrícola (Urgilez, 2024). En el contexto ecuatoriano, y particularmente en la parroquia Toacaso (Cotopaxi), ya se ha evidenciado la presencia de arsénico (As) en los suelos agrícolas. Este elemento se deriva principalmente del uso prolongado de fertilizantes, plaguicidas y aguas de riego contaminadas, así como de la actividad volcánica natural del Cotopaxi, que aporta minerales pesados a las capas superficiales del suelo.

### **10.5.1. METALES PESADOS EN EL SUELO**

Origen natural: Proviene de la desintegración de minerales primarios en las rocas madres, de la actividad volcánica y de los procesos de erosión y sedimentación (Alloway, 2013).

Origen antrópico: Surge de actividades humanas como la minería, industria metalúrgica, combustión de combustibles fósiles, producción de fertilizantes y uso de pesticidas. También contribuyen los residuos urbanos e industriales que, al no ser gestionados adecuadamente, se incorporan al suelo mediante la lluvia o escorrentía (Bradl, 2020).

En Toacaso, los principales aportes antrópicos provienen de prácticas agrícolas intensivas que utilizan fertilizantes fosfatados, los cuales suelen contener trazas de arsénico. Además, el uso de plaguicidas organometálicos, como el arseniato de plomo, ha contribuido históricamente a la contaminación de los suelos agrícolas y de las aguas de riego (De la Cruz & Guano Caiza, 2025b). El comportamiento de este metal pesado depende de múltiples factores, como el pH, la materia orgánica, el tipo de arcilla y la humedad del suelo, estos elementos pueden encontrarse en distintas formas: disueltas, absorbidas, precipitadas o incorporadas en estructuras minerales.

pH: controla la solubilidad; los metales son más móviles y biodisponibles en suelos ácidos (pH < 6)

Materia orgánica: puede inmovilizar al arsénico mediante complejación o, en ciertos casos, movilizarlos al formar compuestos solubles

Textura y tipo de arcilla: las arcillas con alta capacidad de intercambio catiónico, como la montmorillonita, retienen eficazmente metales como el arsénico por absorción

Condiciones redox: en ambientes anaeróbicos, los metales pueden transformarse químicamente, reduciendo o aumentando su toxicidad

Los suelos volcánicos de Toacaso, ricos en arcillas y óxidos de hierro y aluminio, presentan una alta capacidad de absorción inicial, pero con el tiempo pueden acumular concentraciones peligrosas de arsénico si no se aplican medidas de remediación. En este sentido, el uso de materiales naturales como la quitina ofrece una alternativa eficiente, económica y sostenible para reducir la movilidad y biodisponibilidad de este metal pesado, al formar enlaces estables con los iones metálicos.

### **10.5.2. ARSÉNICO**

El Arsénico es un metal pesado de elevada toxicidad que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y puede incorporarse al ambiente a través de procesos geogénicos y actividades antropogénicas. En los suelos, su presencia está asociada principalmente a la meteorización de minerales arsenicales, así como a prácticas humanas como la minería, el uso de pesticidas, fertilizantes fosfatados y la disposición inadecuada de residuos industriales. Debido a su alta persistencia, el arsénico tiende a acumularse en la matriz edáfica, representando un riesgo significativo para los ecosistemas y la salud humana (Popov et al., 2023).

Desde el punto de vista químico, el arsénico se presenta principalmente en los estados de oxidación As (III) y As (V), siendo el primero más móvil y tóxico (ALSamman et al., 2023) . Su comportamiento en el suelo depende de factores como el pH, el potencial redox, el contenido de materia orgánica y la presencia de óxidos de hierro y aluminio, los cuales influyen en los procesos de absorción y movilidad del metaloide. La elevada afinidad del arsénico por ciertos componentes del suelo explica su difícil remoción y la necesidad de aplicar técnicas específicas de remediación.

La exposición prolongada al arsénico, ya sea por contacto directo con suelos contaminados o a través de la cadena alimentaria, ha sido ampliamente relacionada con efectos adversos en la salud humana, incluyendo alteraciones dermatológicas, trastornos cardiovasculares y aumento del riesgo de desarrollar enfermedades cancerígenas (Ganie et al., 2023). Por esta razón, la mayoría de normativas ambientales establecen límites estrictos para su concentración en suelos, especialmente en aquellos destinados a actividades agrícolas, lo que resalta la importancia de desarrollar alternativas eficientes y sostenibles para su remediación.

#### **10.6. TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)**

La trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* es una especie de pez de agua dulce ampliamente distribuida y cultivada a nivel mundial, especialmente en sistemas de acuicultura debido a su rápido crecimiento, alta adaptabilidad y valor comercial (FAO, 2009). Esta especie genera grandes volúmenes de residuos durante su procesamiento, principalmente escamas, huesos y otros subproductos, los cuales representan un desafío ambiental cuando no son gestionados adecuadamente.

Desde una perspectiva bioquímica, las escamas y estructuras óseas de *Oncorhynchus mykiss* constituyen una fuente importante de quitina, un biopolímero natural compuesto por unidades de N-acetilglucosamina (Croisier & Jérôme, 2013). La quitina se caracteriza por su elevada estabilidad, biocompatibilidad y presencia de grupos funcionales capaces de interactuar con el arsénico, lo que la convierte en un material de interés para aplicaciones ambientales, particularmente en procesos de absorción.

El aprovechamiento de residuos de trucha arcoíris para la obtención de quitina representa una alternativa sostenible que contribuye a la valorización de desechos acuícolas y a la reducción de impactos ambientales asociados a su disposición final. Asimismo, el uso de este biopolímero en procesos de remediación se alinea con principios de economía circular, al transformar un residuo orgánico en un material funcional con potencial aplicación en la mitigación de la contaminación por metales pesados en suelos.

## **11. MARCO LEGAL**

### **11.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

En la Constitución de la República del Ecuador, promulgada en el año 2008, representa un avance paradigmático sobre el tema de protección ambiental al ser la primera a nivel mundial en reconocer a la Pachamama como sujeto de derechos. En el Artículo 14 reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, condición indispensable para el ejercicio pleno del Sumak Kawsay o buen vivir (Andrade Ponce & Baque Cruz, 2024).

En este marco constitucional, la gestión ambiental adquiere un carácter transversal y estratégico en la programación del desarrollo nacional ya que en la Carta Magna dispone que dicha gestión debe ser descentralizada, participativa, y basada en los principios de precaución y responsabilidad ambiental estableciendo la obligación de remediar, prevenir y sancionar los daños ambientales. En consecuencia, la normativa constitucional ecuatoriana no solo reconoce los derechos a la naturaleza, sino que define la gestión ambiental como un deber de estado y una responsabilidad compartida con la sociedad.

#### **11.1.1. ARTÍCULOS COMPETENTES AL ÁREA AMBIENTAL**

Artículo 14: Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, y declara de interés público la conservación del ambiente, la preservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la prevención del daño ambiental.

Artículo 71: Reconoce a la naturaleza o Pachamama como sujeto de derechos, garantizando su existencia, persistencia y regeneración de sus ciclos vitales.

Artículo 73: Ordena al Estado aplicar medidas preventivas y restrictivas frente a actividades que puedan conducir a la extinción de especies, destrucción de ecosistemas o alteración permanente de los ciclos naturales.

Artículo 395: Establece los principios de precaución y prevención como ejes de la política ambiental nacional, orientando las acciones hacia la protección integral del

Artículo 396: Determina la responsabilidad objetiva por daño ambiental, obligando a quien lo cause a reparar integralmente los perjuicios ocasionados al ambiente.

## **11.2. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)**

El TULSMA, creado mediante Decreto Ejecutivo 3516 y reformado por el Acuerdo Ministerial 061 en el 2015, reúne la normativa técnica que regula las actividades susceptibles de causar impacto ambiental. Dentro de este texto, el Libro VI “De la Calidad Ambiental” es el más relevante para el presente proyecto, ya que contiene disposiciones específicas sobre la prevención, control y remediación de la contaminación del suelo, agua y aire (Plaza Alarcón, 2020).

Título I, Capítulo II, Artículo 10:

Determina que toda actividad que implique generación de desechos, vertidos o contaminantes debe prevenir, minimizar y controlar los impactos negativos al ambiente.

Título II, Capítulo III, Artículo 60:

Establece la obligación de implementar medidas de manejo ambiental, priorizando aquellas de carácter biotecnológico o natural frente a procesos químicos.

Anexo 2 del Libro VI:

Contiene la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Suelo, que define los límites máximos permisibles de metales pesados en suelos agrícolas.

## **11.3. CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA)**

El COA constituye el principal instrumento legal en materia de gestión ambiental en Ecuador. En su Libro I, Título I, establece la obligación del Estado y de los particulares de proteger y restaurar los ecosistemas naturales, priorizando el uso de prácticas sostenibles (Ortiz, 2024).

El artículo 99 dispone que el Estado promoverá el uso de tecnologías limpias y biotecnología ambiental orientadas a la reducción de la contaminación, lo cual sustenta científicamente la aplicación de biopolímeros naturales como la quitina en la biorremediación del suelo.

En su Libro III, sobre la gestión de la calidad ambiental, se establece la responsabilidad de las autoridades competentes en el control de contaminantes físicos, químicos y biológicos en el suelo, el agua y el aire. Además, el artículo 309 prohíbe la descarga de sustancias peligrosas o residuos contaminantes que afecten la integridad del suelo, ordenando la adopción de medidas

correctivas y de restauración ambiental. Por tanto, el proyecto se alinea directamente con las disposiciones del COA al promover una tecnología ambientalmente segura y sostenible para el manejo y restauración de suelos agrícolas contaminados con metales pesados.

Título III, Capítulo V, Artículo 96:

Regula los procesos de restauración ambiental y exige el uso de técnicas adecuadas y verificables, priorizando las de bajo impacto ambiental.

#### **11.4. LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL**

La Ley de Gestión Ambiental, promulgada mediante el Registro Oficial N.º 245 del 30 de julio de 1999, fue el primer cuerpo legal integral orientado a la regulación de la gestión ambiental en Ecuador. Aunque posteriormente gran parte de su contenido fue incorporado en el Código Orgánico del Ambiente (COA) en 2017, esta ley sigue vigente en sus principios y constituye un referente histórico y jurídico esencial en materia de política ambiental (Hurtado et al., 2022).

Su objetivo general, establecido en el artículo 1, es garantizar el derecho de todas las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado, promoviendo el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad. Además, la ley establece los principios de prevención, precaución, restauración, participación ciudadana y responsabilidad ambiental, pilares sobre los cuales se fundamentan los actuales instrumentos de gestión ecológica.

El artículo 20 de la LGA dispone que toda actividad susceptible de causar impactos negativos en el ambiente debe someterse a una evaluación de impacto ambiental y contar con un plan de manejo ambiental, asegurando que las medidas de prevención, mitigación y compensación sean aplicadas de manera oportuna.

Asimismo, el artículo 28 señala que toda persona natural o jurídica es responsable por los daños ambientales causados, obligándola a la reparación integral de los ecosistemas afectados.

En concordancia con estos principios, el proyecto de remoción de metales pesados mediante quitina cumple con el mandato de prevenir y reparar la contaminación del suelo agrícola en la parroquia Toacaso. La aplicación de un biopolímero natural, biodegradable y no tóxico permite restaurar las funciones ecológicas del suelo sin introducir nuevos contaminantes, en armonía con el principio de sostenibilidad.

Otro eje fundamental de la LGA es la participación social y comunitaria, que se refleja en su artículo 31, el cual garantiza la intervención ciudadana en los procesos de gestión y toma de decisiones ambientales.

En este sentido, la participación del GAD Parroquial de Toacaso y de los agricultores locales en el proceso de investigación y restauración refuerza el cumplimiento de este principio, consolidando un modelo de gestión ambiental participativa y territorialmente contextualizada.

La Ley de Gestión Ambiental, por tanto, constituye el soporte jurídico de la acción biorremediadora, al promover el uso de métodos ecológicos que restituyen la calidad del suelo y contribuyen al bienestar de la población, en cumplimiento del derecho constitucional a un ambiente sano.

#### **11.5. NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE A SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS EN EL ECUADOR**

Código Orgánico del Ambiente (COA)

Artículo 171. Suelos contaminados  
Establece que los suelos contaminados constituyen un pasivo ambiental y que deben ser identificados, evaluados y remediados conforme a la normativa técnica ambiental vigente.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

El Libro VI del TULSMA desarrolla técnicamente lo dispuesto en el COA y regula la calidad del recurso suelo, estableciendo normas de control ambiental y criterios técnicos aplicables a suelos contaminados.

ANEXO 2 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS

Tabla 2: criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Donde establece que el LMP de Arsénico corresponde a 12 mg/kg para suelos de uso residencial, comercial, industrial y agrícola.

### TABLA 3: MUESTREO PARA SUELOS CONTAMINADOS

Donde establece automáticamente los puntos de muestreo mínimos para superficies comprendidas entre 0.1 Ha y 30 Ha.

## **12. METODOLOGÍA**

### **12.1. TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **12.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo aplicada, ya que se orienta a la solución de un problema ambiental concreto mediante la implementación de una alternativa técnica basada en fundamentos científicos. En este caso, se propone el aprovechamiento de residuos piscícolas para la obtención de quitina, la cual es empleada como material bioabsorbente con potencial para reducir la concentración de arsénico en suelos contaminados. Este enfoque busca generar conocimiento útil y transferible para futuras aplicaciones en procesos de biorremediación ambiental.

#### **12.1.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio adopta un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo permitió medir de manera objetiva la concentración de arsénico (As) presente en las muestras de suelo antes y después del tratamiento con quitina, utilizando análisis de laboratorio bajo protocolos estandarizados. De forma complementaria, el enfoque cualitativo facilitó la interpretación de los cambios observados en las propiedades del suelo y la evaluación del comportamiento del material bioabsorbente durante el proceso de remediación, proporcionando una comprensión integral del fenómeno estudiado.

#### **12.1.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

El nivel de la investigación es experimental y descriptiva, es experimental porque se aplica una variable independiente fija, como la dosis de quitina aplicada y las condiciones de tratamiento, con el fin de observar su efecto sobre la variable dependiente, representada por la concentración de metales pesados en el suelo. Asimismo, es descriptivo debido a que se caracterizan las condiciones iniciales y finales del suelo y del agua, permitiendo describir el comportamiento del contaminante y la respuesta del sistema frente a la intervención aplicada.

## **12.2. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **12.2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ESTUDIO**

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño experimental de un solo tratamiento, ejecutado a nivel de laboratorio y con enfoque cuantitativo y aplicado, cuyo objetivo fue evaluar la eficiencia de la quitina obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* en la remoción de arsénico presente en suelos contaminados del barrio Pintze Chico, parroquia Toacaso.

El diseño experimental no contempló la aplicación de tratamientos múltiples ni variaciones de dosis del bioabsorbente. En su lugar, se empleó un único tratamiento experimental, correspondiente a la aplicación de quitina sobre las muestras de suelo contaminado. La evaluación de la eficiencia del proceso se realizó mediante la comparación de la concentración de arsénico antes y después de la aplicación del material absorbente, considerando la condición inicial del suelo como estado de referencia o control pretratamiento.

La variable independiente estuvo representada por la aplicación de quitina obtenida a nivel de laboratorio, mientras que la variable dependiente correspondió a la concentración de arsénico residual en el suelo posterior al tratamiento. Esta estrategia permitió evaluar de manera directa el efecto del bioabsorbente sobre el contaminante, minimizando la influencia de factores externos y garantizando condiciones controladas durante el ensayo experimental.

Los análisis se realizaron bajo condiciones homogéneas de masa de suelo, tiempo de contacto y parámetros fisicoquímicos controlados. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico comparativo entre los valores iniciales y finales, con el fin de determinar la eficiencia de remoción del arsénico y la significancia del tratamiento aplicado.

Este diseño experimental es coherente con estudios exploratorios y aplicados de remediación ambiental a escala de laboratorio, donde se busca validar la efectividad de un material bioabsorbente específico bajo condiciones controladas.

### **12.2.2. ESQUEMA GENERAL DEL EXPERIMENTO**

El esquema general del experimento se organiza en etapas metodológicas secuenciales, diseñadas para asegurar la estandarización del proceso experimental y la reproducibilidad de los resultados. En una primera etapa se realiza la obtención y acondicionamiento de la quitina, a partir de residuos de trucha arcoíris, mediante procesos controlados de limpieza, desproteinización,

desmineralización y purificación, con el fin de obtener un material homogéneo y con condiciones fisicoquímica aptas para su aplicación experimental.

La segunda etapa comprende la recolección y caracterización inicial de las muestras de suelo, donde se determina la concentración inicial de arsénico que servirán como línea base del estudio. En la tercera etapa se desarrolla la aplicación experimental de la quitina, incorporando la quitina al suelo según el tratamiento establecido y manteniendo condiciones controladas, permitiendo la interacción entre la quitina y la matriz edáfica y finalmente, en la cuarta etapa se realiza el análisis posterior al tratamiento, cuantificando la concentración residual del metal pesado y comparándola con el tratamiento control y los valores iniciales. Los datos obtenidos se procesan mediante análisis estadístico, lo que permite evaluar la eficiencia del tratamiento y determinar la viabilidad técnica del uso de quitina en la remediación de suelos contaminados.

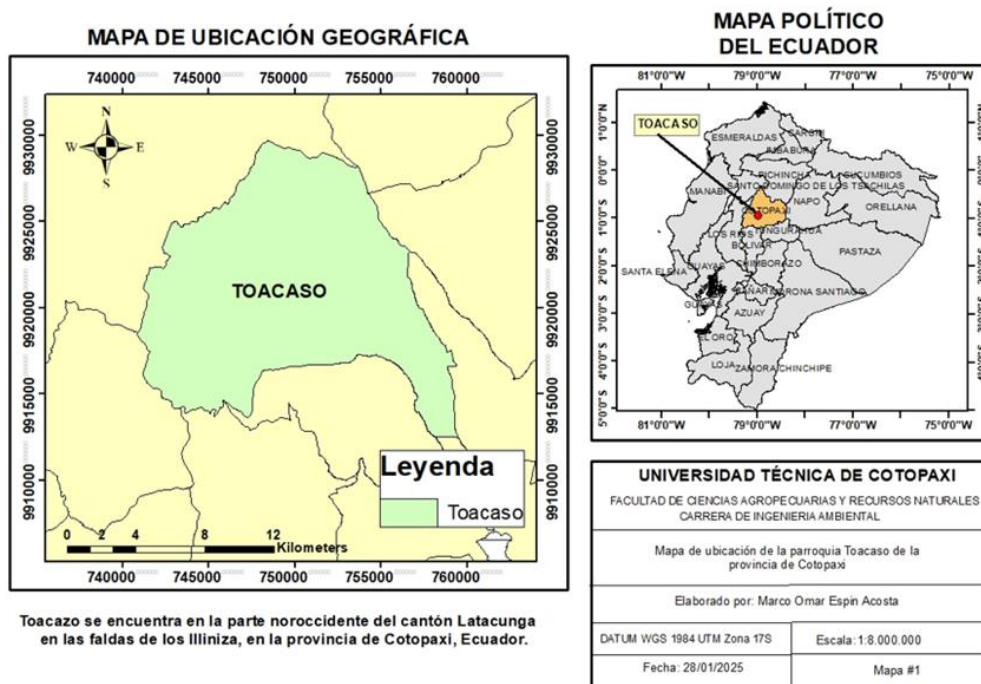
### **12.3. ÁREA DE ESTUDIO**

#### **12.3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Toacaso es una parroquia ubicada en la zona noroccidental del cantón Latacunga, en un entorno privilegiado por su cercanía a los majestuosos Ilinizas, sus límites territoriales están claramente definidos. Hacia el norte Toacaso se conecta con las faldas del Iliniza Norte en la zona donde nace el río Zarapullo y comparte territorio con la parroquia Pastocalle, al sur limita con la parroquia Canchagua del cantón Saquisilí y con Guytacama, del mismo cantón, por el oeste, colinda con la parroquia Tanicuchi, mientras que al oeste se abre camino hacia el cantón Sigchos (CotopaxiTravel, 2021) como se muestra en el Mapa 1.

#### **MAPA 1.**

#### **UBICACIÓN GEOGRÁFICA TOACASO**



### 12.3.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL SECTOR PINTZE CHICO

Toacaso está conformado por 38 comunidades, donde predomina la población indígena sobre la población mestiza, el 70% del territorio es gestionado por comunidades y el 30% por haciendas según lo registrado en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia en el 202. El territorio posee un valioso patrimonio natural y turístico debido a su cercanía con la Reserva de los Ilinizas, además, posee una gran riqueza hídrica gracias a sus páramos, bosques nativos y el nevado. Sus ríos y riachuelos alimentan principalmente a las cuencas Toachi Pilatón y Pastaza, a través de microcuencas como Chisaló, Jatuncama, Quititoa, Río Blanco, Pucahuaico, Río negro y Pumacunchi. La topografía del sector donde se asienta la parroquia es de tipo montañoso irregular, los suelos son en su mayoría arcillosos y arenosos además de que cuenta con pendientes que van de poco a muy pronunciadas debido a que algunas sobrepasan el 12 % (Ramos Gómez, 2012)

### 12.3.3. USO ACTUAL DEL SUELO

El uso del suelo en el área de estudio se caracteriza principalmente por el desarrollo de actividades agropecuarias de pequeña escala orientadas tanto al autoconsumo como a la comercialización local, estas actividades se sustentan en sistemas productivos tradicionales que dependen directamente de la calidad física, química y biológica del suelo, lo que condiciona su

capacidad productiva y su sostenibilidad a largo plazo (Obando Pullozasig, 2021). En este contexto, predominan cultivos como papa, cebada, maíz y pastos, los cuales constituyen la base económica de la población local y presentan una alta sensibilidad frente a procesos de degradación del suelo.

De manera complementaria, el territorio presenta un uso residencial rural disperso con viviendas establecidas en proximidad a las áreas de cultivo, esta distribución espacial genera una interacción permanente entre las actividades humanas y el recurso suelo, incrementando su vulnerabilidad a procesos de contaminación. Entre los principales factores de presión se identifican el manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos, el uso intensivo de insumos agrícolas y la ausencia de prácticas productivas tecnificadas, los cuales contribuyen al deterioro progresivo de las propiedades edáficas.

## **12.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **12.4.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población de estudio está constituida por el suelo ubicado en las cercanías del río Blanco dentro del sector Pintze Chico. Este suelo ha sido seleccionado debido a antecedentes técnicos y estudios previos que reportan la presencia de arsénico en torno al río donde la proximidad al río Blanco convierte a este suelo en un componente ambiental vulnerable ya que puede actuar como receptor de contaminantes transportados por escorrentía y sedimentos, afectando a la calidad del suelo como la productividad agrícola y seguridad ambiental del área.

### **12.4.2. TIPO DE MUESTREO**

Se aplicó un muestreo de tipo intencional o dirigido, orientado a la selección de áreas de suelo cercanas al río Blanco con mayor probabilidad de contaminación por arsénico, este enfoque permitió focalizar el estudio en zonas previamente identificadas como críticas, en concordancia con los antecedentes documentados.

Los puntos de muestreo se seleccionaron considerando la cercanía al cauce del río, el uso agrícola activo del suelo y la accesibilidad del terreno garantizando que las muestras representan las condiciones ambientales del sector bajo la influencia directa del cuerpo hídrico.

### **12.4.3. TAMAÑO DE MUESTRA**

El tamaño de la muestra se definió en función de la representatividad espacial del área seleccionada y de la necesidad de realizar un análisis comparativo entre el tratamiento

experimental y el testigo. Cada muestra estuvo constituida por una cantidad suficiente de suelo, específicamente 1 kg, como lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, punto 4.5, Muestreo y análisis de suelos, para la caracterización inicial, la aplicación del tratamiento con quitina y la determinación de la concentración de metales pesados antes y después del tratamiento.

#### 12.4.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS

**Tabla 5.** *Criterios de selección de los puntos de muestreo de suelos en el área de estudio*

<b>Criterio</b>	<b>Descripción técnica</b>	<b>Justificación</b>
Proximidad al río Blanco	Selección de suelos ubicados en áreas cercanas al cauce del río Blanco	Permite evaluar suelos potencialmente influenciados por el transporte y deposición de arsénico proveniente del cuerpo hídrico
Antecedentes de contaminación	Presencia documentada de arsénico en estudios previos realizados en el sector	Garantiza la pertinencia ambiental del estudio y la focalización en zonas críticas
Uso agrícola activo	Suelos destinados actualmente a actividades agrícolas	Asegura la representatividad del impacto ambiental sobre suelos productivos
Homogeneidad edáfica	Textura y características físicas similares entre los puntos de muestreo	Reduce la variabilidad experimental y mejora la comparabilidad de resultados
Accesibilidad del sitio	Áreas con condiciones adecuadas para la toma de muestras	Facilita la ejecución del muestreo y minimiza riesgos operativos
Ausencia de intervención reciente	Zonas sin remoción, relleno o aplicación reciente de enmiendas	Evita alteraciones artificiales en la composición del suelo
Representatividad espacial	Distribución de los puntos de muestreo a lo largo del margen del río	Permite capturar variaciones espaciales del nivel de contaminación

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2025)

## **12.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **12.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Aplicación de quitina obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* como material biabsorbente en suelos contaminados con arsénico.

### **12.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Concentración de arsénico presente en el suelo, expresada en mg/kg, determinada antes y después de la aplicación del tratamiento con quitina.

Adicionalmente, se consideraron condiciones experimentales controladas, tales como la masa de suelo utilizada, la cantidad de quitina aplicada, el tiempo de contacto y las condiciones de laboratorio, las cuales se mantuvieron constantes durante el desarrollo del estudio con el fin de garantizar la comparabilidad de los resultados.

## **12.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **12.6.1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN**

**Tabla 6.** Variable dependiente 1: Concentración de arsénico en el suelo

<b>Elemento</b>	<b>Detalle</b>
Nombre de la variable	Aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de <i>Oncorhynchus mykiss</i>
Tipo de variable	Cuantitativa / categórica (según diseño del tratamiento)
Rol	Independiente
Definición conceptual	Uso de quitina como bioabsorbente aplicada a muestras de suelo contaminado, con el fin de promover la remoción de arsénico mediante procesos de absorción.
Definición operacional	Cantidad de quitina (g) incorporada por unidad de masa de suelo en cada tratamiento, bajo condiciones controladas de tiempo de contacto y humedad.
Dimensiones posibles	Dosis de quitina; condición de aplicación (con / sin quitina).
Indicadores	Dosis de quitina aplicada (g de quitina / 100 g de suelo) - Presencia/ausencia de quitina (control vs tratamiento)
Unidad de medida	g de quitina / 100 g de suelo (o g/kg)
Escala de medición	Razón (para dosis); nominal dicotómica (para control vs tratamiento)
Técnica de registro	Registro experimental en hoja de campo / cuaderno de laboratorio
Instrumentos	Balanza analítica, espátula, recipientes de ensayo, fichas de laboratorio

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

**Tabla 7.** Variable dependiente 2: Eficiencia de remoción de arsénico

<b>Elemento</b>	<b>Detalle</b>
Nombre de la variable	Concentración de arsénico en suelos contaminados
Tipo de variable	Cuantitativa (razón)
Rol	Dependiente
Definición conceptual	Cantidad de arsénico presente en el suelo, expresada como concentración, que representa el nivel de contaminación del mismo.
Definición operacional	Valor numérico de arsénico cuantificado en las muestras de suelo, antes y después de la aplicación de quitina, determinado mediante una técnica analítica validada.
Dimensiones	Concentración inicial de As - Concentración final de As
Indicadores	[As] inicial en el suelo (mg/kg) - [As] final en el suelo tras el tratamiento con quitina (mg/kg)
Unidad de medida	mg/kg de suelo (o mg/L en extracto, según el método)
Escala de medición	Razón
Técnica de medición	Digestión y análisis de arsénico mediante técnica instrumental (por ejemplo, espectrofotometría UV-Vis, AAS o ICP, según disponibilidad del laboratorio)
Instrumentos	Equipos de digestión, material de vidrio, equipo analítico correspondiente, fichas de resultados de laboratorio

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

**Tabla 8.** Variables de control

Elemento	Detalle
Nombre de la variable	Eficiencia de remoción de arsénico mediante quitina
Tipo de variable	Cuantitativa (razón)
Rol	Dependiente derivada (indicador de desempeño)
Definición conceptual	Grado en el que la aplicación de quitina reduce la concentración de arsénico presente en el suelo, expresado como porcentaje de remoción.
Definición operacional	Porcentaje calculado a partir de la diferencia entre la concentración inicial y final de arsénico en el suelo, dividido para la concentración inicial y multiplicado por 100.
Dimensiones	Remoción relativa de As
Indicadores	% de remoción de As en cada tratamiento
Unidad de medida	% (porcentaje)
Escala de medición	Razón
Fórmula sugerida	$\% \text{Remoción} = \left[ \frac{C_o - C_f}{C_o} \right] \times 100 \text{ (donde } C_o = [\text{As}]_{\text{inicial}}, C_f = [\text{As}]_{\text{final}} \text{)} \quad (1)$
Técnica de cálculo	Cálculo numérico a partir de los resultados analíticos
Instrumentos	Hoja de cálculo (Excel, R, etc.), registros de laboratorio

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

### 12.6.2. PRUEBAS ESTADÍSTICAS APLICADAS

Dado que el diseño experimental del estudio contempló un único tratamiento y una comparación pre–post, el análisis estadístico se centró en la comparación directa de los valores de concentración de arsénico obtenidos antes y después de la aplicación de quitina.

El tratamiento de los datos se realizó mediante análisis estadístico descriptivo, incluyendo el cálculo de valores promedio, diferencias absolutas y porcentajes de variación, con el fin de evaluar el efecto del material absorbente sobre la concentración de arsénico en el suelo.

No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales complejas, debido al tamaño muestral limitado y a la ausencia de grupos experimentales independientes, priorizando una interpretación técnica y ambiental de los resultados obtenidos.

### **12.6.3. INDICADORES Y UNIDADES DE MEDIDA**

Cada indicador se asocia a una unidad de medida específica que facilita el análisis cuantitativo y comparativo de los resultados obtenidos antes y después del tratamiento.

**Tabla 9.** Variables e indicadores utilizados para la evaluación de tratamiento de suelos contaminados con arsénico

Variable	Indicador	Descripción del indicador	Unidad de medida
Contaminación del suelo	Concentración inicial de arsénico	Cantidad de arsénico presente en el suelo antes de la aplicación de quitina	mg/kg de suelo
Contaminación del suelo	Concentración final de arsénico	Cantidad de arsénico presente en el suelo después del tratamiento con quitina	mg/kg de suelo
Eficiencia de remoción	Porcentaje de remoción de arsénico	Reducción porcentual de arsénico obtenida tras la aplicación de quitina	%
Quitina obtenida	Rendimiento de quitina	Cantidad de quitina obtenida a partir de residuos de <i>Oncorhynchus mykiss</i>	g de quitina/kg de residuo
Condiciones del tratamiento	Dosis de quitina aplicada	Cantidad de quitina incorporada al suelo contaminado	g/kg de suelo
Análisis comparativo	Diferencia de concentración de arsénico	Variación entre la concentración inicial y final de arsénico	mg/kg de suelo

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

## 12.7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 12.7.1. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

La recolección de las muestras de suelo se efectuó en los alrededores del río Blanco, ubicado en la parroquia Toacazo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. La selección de este

sitio se fundamentó en estudios previos, los cuales evidencian la presencia de arsénico en los suelos próximos a este afluente, resultado del arrastre de sedimentos agrícolas y descargas domésticas hacia el cauce del río.

Con base en esta información, se estableció un área de muestreo de 0.5 hectáreas, y los puntos de muestreo correspondientes al área se calcularon aplicando la ecuación (2) establecida en la normativa ecuatoriana para suelos contaminados (AM-097A, 2015).

$$Y = (X)^{0.3} \times (11.71) \quad (2)$$

Donde:

Y = Número de muestras requeridas.

X = Superficie del terreno en hectáreas (ha).

Se definió un total de 10 muestras individuales distribuidas equitativamente dentro del área de estudio, que posteriormente fueron mezcladas para formar una muestra compuesta representativa. Este procedimiento permitió reducir la variabilidad espacial y garantizar una mayor precisión en la determinación de contaminantes metálicos del suelo.

Las muestras se recolectaron de la capa superficial del suelo a 20 cm, utilizando palas de acero inoxidable previamente desinfectada y guantes de nitrilo para evitar contaminación cruzada. Cada muestra se depositó en bolsas plásticas herméticas rotuladas, indicando el código de identificación, fecha y ubicación del punto de muestreo, posteriormente, las bolsas fueron colocadas en contenedores térmicos y transportadas al laboratorio para su secado, tamizado y análisis como establece la guía para muestreo de suelo publicado por Agrocalidad.

Una vez en el laboratorio, las 10 muestras individuales fueron homogeneizadas para formar una muestra compuesta representativa del área de influencia del río Blanco. Este procedimiento del suelo, manteniendo coherencia con los procedimientos establecidos en los materiales y métodos del estudio.

### **12.7.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO**

Previo a la aplicación del tratamiento experimental la muestra compuesta de suelo obtenida en el área de influencia del río Blanco fue sometida a una caracterización inicial con el propósito

de verificar la presencia o ausencia de metales pesados en el suelo y determinar sus concentraciones. Este análisis permitió confirmar el grado de contaminación del suelo.

Asimismo, se realizó un análisis de laboratorio para la cuantificación de arsénico, considerando los antecedentes técnicos que reportan su presencia en suelos cercanos al río Blanco. Los análisis se efectuaron mediante métodos analíticos estandarizados y conforme a la normativa ambiental vigente, garantizando la confiabilidad, precisión de los resultados obtenidos.

La información generada a partir de esta caracterización inicial sirvió como referencia para comparar los resultados obtenidos después de la aplicación de la quitina, permitiendo evaluar de manera objetiva la eficiencia del tratamiento y el impacto del bioabsorbente en la reducción de arsénico en el suelo.

### **12.7.3. OBTENCIÓN DE QUITINA A PARTIR DE *ONCORHYNCHUS MYKISS***

La materia prima utilizada para la obtención de quitina fue escamas y huesos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), provenientes de centros piscícolas. Este material residual fue seleccionado por su alto contenido de quitina estructural, bajo costo y disponibilidad local, lo que fortalece el enfoque sostenible del proyecto.

El proceso inició con la recolección y limpieza del material biológico, retirando manualmente restos de tejidos blandos, posteriormente, se realizaron tres lavados consecutivos con agua destilada para eliminar impurezas, seguido de un secado en estufa a 55 °C durante 24 horas.

Una vez seco, el material se trituró obteniendo partículas de 1 a 3 mm un tamaño adecuado para la etapa de desproteínización, este procedimiento permitió obtener un material homogéneo, libre de humedad, apto para el tratamiento químico posterior.

La desproteínización tuvo como finalidad eliminar las proteínas residuales unidas a la estructura quitinosa, para ello se colocaron 980 g del material triturado en vasos de precipitados de 1 L, añadiendo 500 ml de NaOH al 3–5 % (p/v).

La mezcla se calentó a 90 °C por 2 horas, con agitación constante sobre una placa calefactora con control de temperatura. Al finalizar el tratamiento, la muestra se filtró utilizando

embudo Büchner y papel Whatman No. 1, y se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (6.5–7.0).

Este paso garantizó la eliminación completa de proteínas, dejando una matriz quitinosa purificada para la siguiente etapa.

La purificación se realizó mediante desmineralización y decoloración opcional, a fin de obtener quitina de alta pureza, el material desproteínizado se trató con 500 ml de HCl al 1–2 % (p/v) a temperatura ambiente durante 30 minutos, con agitación continua, durante el proceso, se observó la formación de burbujas y turbidez en la solución, indicativo de la reacción de los carbonatos y minerales residuales. Posteriormente, se filtró y lavó con agua destilada hasta alcanzar nuevamente pH neutro, para eliminar pigmentos residuales se aplicó un proceso de decoloración opcional, empleando etanol al 95 % o peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 3 % por 1 hora y finalmente, la muestra se secó en estufa a 55–60 °C por 24 horas, obteniéndose un polvo fino y blanco de quitina, almacenado en frascos de vidrio herméticos (Kozma et al., 2022).

Para determinar la eficiencia del proceso de extracción de quitina a partir de las escamas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se aplicó la ecuación (3) de rendimiento porcentual de quitina, basada en el peso seco del material inicial y el peso final de quitina obtenida, según lo indicado en el Protocolo de Laboratorio (Sierra et al., 2013).

$$\% \text{Quitina} = \left( \frac{P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde:

P<sub>f</sub> = Peso final de quitina obtenida (g)

P<sub>i</sub> = Peso inicial del material seco (g)

Durante el procedimiento, se emplearon 980 g de huesos y escamas trituradas como peso inicial (P<sub>i</sub>), obteniéndose al final 29.20 g de quitina pura (P<sub>f</sub>).

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$\% \text{Quitina} = \left( \frac{29.20g}{980g} \right) \times 100 = 2.98\%$$

El rendimiento final de 2.98 % confirma una eficiencia moderada del proceso de extracción, coherente con lo reportado por Anastopoulos et al. (2017) y Kyzas & Bhatnagar (2018) para materiales de origen piscícola. Este resultado demuestra que la quitina obtenida posee un contenido estructural adecuado para su uso como bioabsorbente, conservando sus propiedades fisicoquímicas esenciales para la absorción de arsénico en suelos contaminados.

#### **12.7.4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL ABSORBENTE**

Una vez obtenida la quitina a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss*, el material fue sometido a un proceso de preparación física previo a su aplicación experimental. La quitina purificada fue secada hasta alcanzar condiciones estables y posteriormente triturada, con el fin de obtener un material de tamaño de partícula homogéneo que facilite su interacción con la matriz del suelo.

El material preparado fue almacenado en recipientes limpios, secos y herméticamente cerrados, evitando la exposición a humedad o contaminantes externos, hasta el momento de su utilización en los ensayos experimentales.

#### **12.7.5. DISEÑO DEL TRATAMIENTO EXPERIMENTAL**

El diseño del tratamiento experimental se estructuró bajo un enfoque experimental simple, considerando la aplicación de un único tratamiento a las muestras de suelo contaminado. Dicho tratamiento consistió en la incorporación de quitina obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* sobre el suelo previamente caracterizado. La evaluación del efecto del tratamiento se realizó mediante la comparación de la concentración de arsénico antes y después de la aplicación de la quitina, tomando como referencia la condición inicial del suelo, la cual se consideró como control pretratamiento. Este diseño permitió analizar de manera directa el efecto del material absorbente sobre la concentración de arsénico en el suelo bajo condiciones controladas de laboratorio, garantizando la coherencia entre el procedimiento experimental y los objetivos planteados en la investigación.

#### **12.7.6. APLICACIÓN DE QUITINA EN LAS MUESTRAS DE SUELO**

La quitina preparada fue incorporada directamente a las muestras de suelo de acuerdo con el diseño de tratamiento establecido. La aplicación se realizó de manera manual y controlada,

asegurando una mezcla homogénea entre el suelo y el material absorbente, con el fin de favorecer el contacto directo entre ambos componentes.

Una vez aplicada la quitina, las muestras fueron acondicionadas en recipientes adecuados para el desarrollo del ensayo, evitando pérdidas de material y garantizando condiciones uniformes durante el proceso experimental.

### 12.7.7. TIEMPO DE CONTACTO Y CONDICIONES DEL ENSAYO

Con el fin de evaluar el comportamiento de la quitina como material bioabsorbente y analizar la evolución de la concentración de arsénico en función del tiempo de exposición, se trabajó con un mismo lote de suelo contaminado y una dosis fija de quitina pura obtenida a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss*.

El suelo, previamente caracterizado, fue sometido a un tratamiento con quitina manteniendo constantes la masa de suelo, la cantidad de absorbente y las condiciones fisicoquímicas del sistema. La variable evaluada fue el tiempo de contacto entre el suelo y la quitina, considerando intervalos de 0, 24, 48 y 72 horas ya que permiten alcanzar eficiencias de remoción superiores al 85 %, pudiendo llegar hasta valores cercanos al 95 %, dependiendo del pH del sistema, la dosis del absorbente y la concentración inicial del contaminante (Boulaiche et al., 2019).

Para cada tiempo de contacto se realizaron tres repeticiones, con el objetivo de evaluar la reproducibilidad del comportamiento observado y permitir el análisis estadístico descriptivo de los resultados (Montero-Álvarez et al., 2010). La concentración de arsénico fue determinada al final de cada intervalo de tiempo mediante análisis de laboratorio acreditado, comparando los valores obtenidos con la concentración inicial del suelo antes de la aplicación del tratamiento

**Tabla 10.** Concentración de arsénico en función del tiempo de contacto con quitina

Tiempo (h)	Réplica 1 (mg/kg)	Réplica 2 (mg/kg)	Réplica 3 (mg/kg)	Promedio (mg/kg)	Desv. estándar	% remoción
0 (inicial)	180.33	–	–	180,33	–	–
24	177.8	176.9	178.1	177.6	0.62	1.52
48	175.4	174.8	175.9	175.4	0.55	2.74
72	171.5	171.8	171.6	171.6	0.15	4.84

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

### **12.7.8. DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POST TRATAMIENTO**

Finalizado el tiempo de contacto, las muestras de suelo fueron sometidas a análisis para la determinación de la concentración residual de arsénico. Este análisis se realizó siguiendo métodos analíticos estandarizados y de acuerdo con la normativa ambiental vigente, garantizando la confiabilidad y precisión de los resultados.

Los valores obtenidos fueron comparados con la concentración inicial de arsénico determinada en la caracterización del suelo y con el tratamiento control, permitiendo evaluar la eficiencia de la quitina como material absorbente en la remoción de arsénico presente en el suelo.

## **12.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **12.8.1. TÉCNICAS DE LABORATORIO EMPLEADAS**

Las técnicas de laboratorio empleadas estuvieron orientadas a la preparación, caracterización y análisis de las muestras de suelo, así como al acondicionamiento del material absorbente. En primer lugar, las muestras de suelo fueron sometidas a procesos de secado a temperatura ambiente, tamizado y homogeneización, con el fin de obtener una fracción representativa y adecuada para los análisis posteriores.

Para la evaluación de la contaminación por arsénico, se emplearon técnicas analíticas instrumentales estandarizadas, tanto en la caracterización inicial como en el análisis post-tratamiento, siguiendo los procedimientos y la normativa ambiental vigente. Estas técnicas permitieron cuantificar la concentración de arsénico presente en las muestras de suelo con precisión y confiabilidad. De manera complementaria, durante la obtención y preparación de la quitina se aplicaron técnicas de limpieza, secado, trituración y acondicionamiento del material absorbente, garantizando su adecuada aplicación en los ensayos experimentales y la obtención de datos confiables para la evaluación de la eficiencia del tratamiento.

## 12.8.2. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

**Tabla 11.** *Materiales utilizados en el proceso de obtención de quitina*

<b>N.º</b>	<b>Material</b>	<b>Descripción / Uso principal</b>
1	Escamas de trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Fuente biológica de quitina (residuo piscícola local).
2	Muestras de suelo agrícola	Suelos recolectados en la parroquia Toacazo para análisis de arsénico
3	Bolsas plásticas herméticas	Almacenamiento temporal de muestras de suelo y quitina.
4	Frascos de vidrio con tapa	Conservación de muestras en laboratorio.
5	Vidriería de laboratorio (matraces, pipetas, probetas)	Preparación y manipulación de reactivos y soluciones.
6	Tamiz No. 10 (2 mm)	Homogeneización del suelo seco.
7	Papel filtro y embudos	Filtración de soluciones durante la preparación de quitina.
8	Guantes, mascarilla y bata	Elementos de bioseguridad para la manipulación de materiales.
9	Etiquetas y marcadores	Identificación y trazabilidad de muestras.

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

**Tabla 12.** *Equipos utilizados en el proceso de obtención de quitina*

<b>N.º</b>	<b>Equipo</b>	<b>Descripción / Función</b>
1	Balanza analítica (0.001 g de precisión)	Medición exacta de masa de muestras y reactivos.
2	pH-metro digital	Determinación del pH en suelos y soluciones.
3	Agitador magnético con barra de agitación	Homogeneización de soluciones durante el proceso de desproteínización y desmineralización.
4	Estufa de secado (60–105 °C)	Secado controlado de quitina y suelo.
5	Espectrofotómetro de absorción atómica (AAS)	Cuantificación de arsénico
6	Agitador magnético con calefacción	Preparación homogénea de disoluciones químicas.
7	Microscopio óptico	Verificación microscópica de la estructura de quitina.
8	Termómetro digital	Control de temperatura durante el tratamiento químico.
9	Refrigerador de muestras	Conservación temporal de extractos biológicos.

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

**Tabla 13.** *Reactivos utilizados en el proceso de obtención de quitina*

N.º	Reactivo químico	Concentración / Pureza	Uso específico
1	Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)	1 %	Lavado preliminar y neutralización de residuos orgánicos.
2	Hidróxido de sodio (NaOH)	1 N	Desproteínización de las escamas para obtener quitina pura.
3	Ácido clorhídrico (HCl)	1 N	Desmineralización de la quitina (eliminación de carbonatos).
4	Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )	65 % (p/p)	Digestión ácida para el análisis de arsénico en suelo.
5	Ácido perclórico (HClO <sub>4</sub> )	70 % (p/p)	Complemento en la digestión ácida (EPA 3050B).
6	Soluciones patrón de As <sup>3+</sup>	1000 mg/L	Calibración del espectrofotómetro de absorción atómica.
7	Agua destilada	—	Lavado y preparación de todas las soluciones.
8	Alcohol etílico (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	96 %	Desinfección y limpieza de equipos.
9	Buffer fosfato (pH 7.0)	—	Mantenimiento del pH en pruebas de absorción.

*Nota.* Elaborado por Espin, M. (2026)

### 12.8.3. CONTROL DE CALIDAD ANALÍTICA

Con el fin de garantizar la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos, durante el desarrollo de los análisis de laboratorio se aplicaron procedimientos de control de calidad analítica en todas las etapas del proceso, estos controles permitieron asegurar que las mediciones realizadas reflejen de manera precisa las concentraciones reales de arsénico presentes en las muestras de suelo.

Para el control de calidad se consideraron prácticas como la correcta calibración de los equipos analíticos antes de cada jornada de análisis, el uso de reactivos en condiciones adecuadas y la aplicación de procedimientos estandarizados durante la preparación y análisis de las muestras.

Asimismo, se realizaron análisis por duplicado en muestras seleccionadas, con el objetivo de evaluar la reproducibilidad de los resultados y minimizar errores analíticos.

Adicionalmente, se incluyó el análisis de blancos y muestras de control lo que permitió verificar la ausencia de contaminación cruzada y asegurar la precisión de los datos obtenidos. La aplicación de estas medidas de control de calidad fortaleció la confiabilidad de los resultados y proporcionó una base sólida para la interpretación y discusión de los datos generados en el estudio.

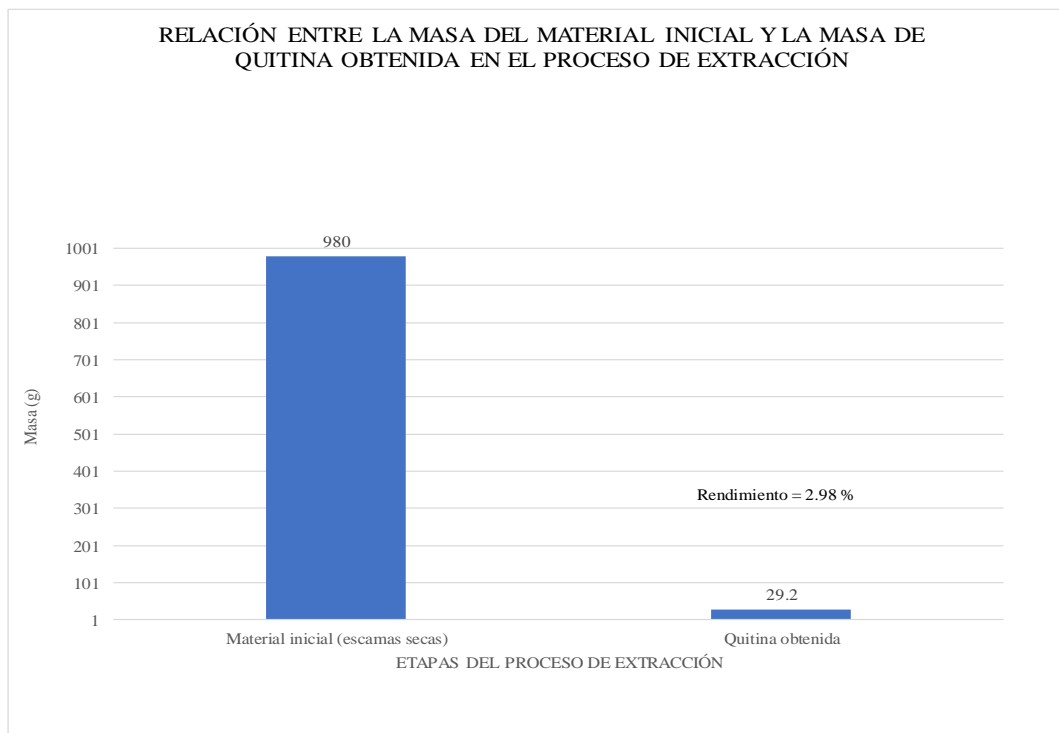
## **13. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **13.1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA QUITINA**

#### **13.1.1. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN**

La Figura 1 muestra la relación entre la masa del material inicial empleado en el proceso de extracción y la masa de quitina obtenida como producto final.

Para el desarrollo del procedimiento se utilizaron 980 g de huesos y escamas trituradas como materia prima, a partir de las cuales se recuperaron 29.20 g de quitina purificada, evidenciando una reducción significativa de masa asociada a la eliminación de componentes no quitinosos durante las etapas de tratamiento. El rendimiento calculado del proceso fue de 2.98 % valor que refleja una eficiencia moderada de la metodología aplicada, este resultado es consistente con la naturaleza del material de origen biológico y con los procesos de extracción de quitina a escala de laboratorio, en los cuales una fracción considerable de la biomasa inicial corresponde a proteínas, minerales y otros compuestos que son removidos durante las fases de desproteinización y desmineralización.



*Figura 1. Relación entre la masa del material inicial y la masa de quitina obtenida en el proceso de extracción*

### 13.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA QUITINA OBTENIDA

La quitina obtenida presentó características físicas consistentes con las descritas para este biopolímero en estudios previos. El material se observó en forma sólida, de aspecto fibroso y coloración blanquecina, lo que evidencia una adecuada remoción de componentes minerales y proteicos durante el proceso de obtención como se puede evidenciar en los anexos. Asimismo, la textura del material favorece la presencia de una superficie específica apta para procesos de absorción, lo cual resulta relevante para su aplicación como bioabsorbente. Estas características físicas sugieren que la quitina obtenida posee condiciones favorables para interactuar con el arsénico presente en el suelo y participar en los mecanismos de retención del contaminante.

### 13.1.3. OBSERVACIONES RELEVANTES DEL PROCESO

Durante el proceso de obtención de la quitina se evidenció que el control de las condiciones operativas influyó directamente en la calidad del material final. La adecuada ejecución de las etapas de tratamiento permitió obtener un producto homogéneo y estable, sin presencia visible de impurezas que pudieran interferir en los ensayos posteriores. Asimismo, el procedimiento

empleado demostró ser reproducible y compatible con aplicaciones a mayor escala, lo que refuerza su potencial para el aprovechamiento de residuos orgánicos con fines ambientales. Estas observaciones respaldan la selección del método de obtención y su pertinencia dentro del enfoque de remediación de suelos planteado en el presente estudio.

## 13.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL DE LOS SUELOS CONTAMINADOS

### 13.2.1. CONCENTRACIÓN INICIAL DE ARSÉNICO

La concentración inicial de arsénico determinada por el laboratorio acreditado por la SAE en el suelo previo a la aplicación de la quitina evidencia la presencia de contaminación significativa como se puede evidenciar en la Tabla 12. Este valor inicial constituye la referencia principal para evaluar la eficiencia del tratamiento aplicado y permite establecer comparaciones cuantitativas entre las condiciones antes y después del proceso. La magnitud de la concentración inicial sugiere una fuerte interacción del arsénico con la matriz edáfica lo que explica la dificultad de su remoción inmediata y resalta la relevancia de emplear materiales absorbentes capaces de reducir su movilidad. En este sentido la concentración inicial registrada se convierte en un punto de partida clave para analizar la respuesta del sistema y proyectar escenarios de mejora mediante la optimización del absorbente.

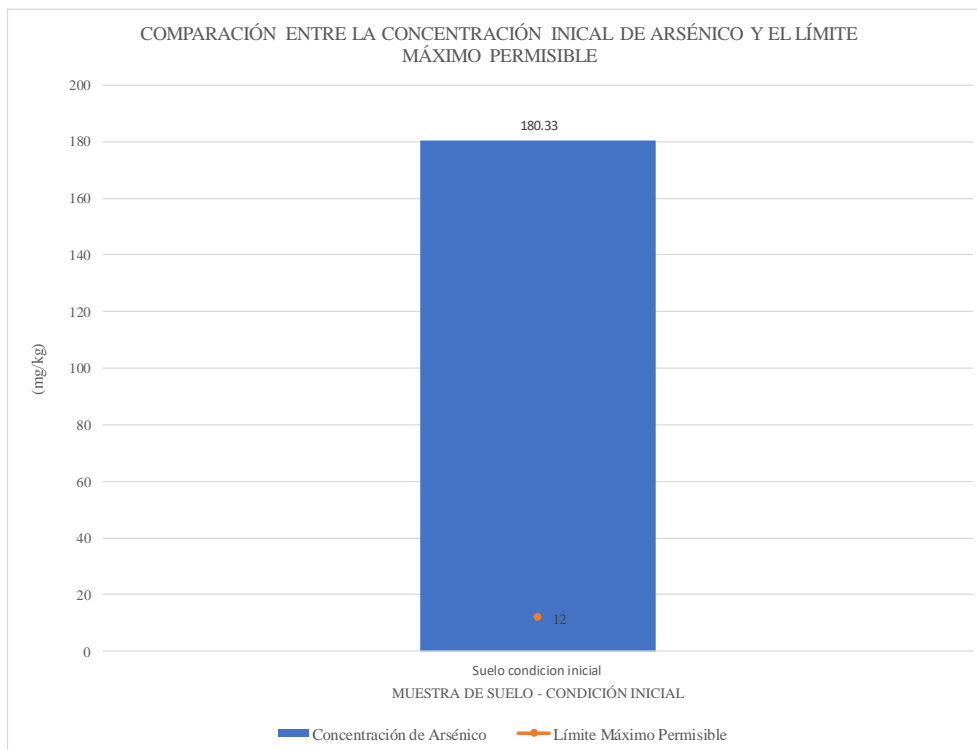
**Tabla 14.** Resultado del análisis de laboratorio acreditado por la SAE

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	LMP
Arsénico	mg/ kg	180.33	EPA 3050, Rev.01,1992; EPA6010 B, December 1996; Standard Methods Ed. 24, 2023, 3120 B/ PA-118.00	12

*Nota:* Lacquanálisis S.A. (2025)

### 13.2.2. COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

La concentración inicial de arsénico determinada en el suelo presentó un valor de 180.33 mg/kg como, el cual fue comparado con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente para la calidad de suelos. De acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA) y los criterios técnicos actualmente adoptados por el MAATE, el valor máximo permisible de arsénico para suelos de uso agrícola corresponde a 12 mg/kg como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Comparación entre la concentración inicial de arsénico y el límite máximo permisible

La comparación entre el valor medido y el límite normativo evidencia que la concentración inicial de arsénico en el suelo supera el valor permitido en más de quince veces, lo que confirma la presencia de una contaminación severa y un riesgo ambiental significativo. Esta condición implica una alta probabilidad de afectación a la calidad del suelo, a los organismos edáficos y a la seguridad de los sistemas productivos, así como un potencial riesgo para la salud humana por exposición directa o indirecta.

### 13.3. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO

#### 13.3.1. CONCENTRACIÓN FINAL DE ARSÉNICO EN LOS SUELOS TRATADOS

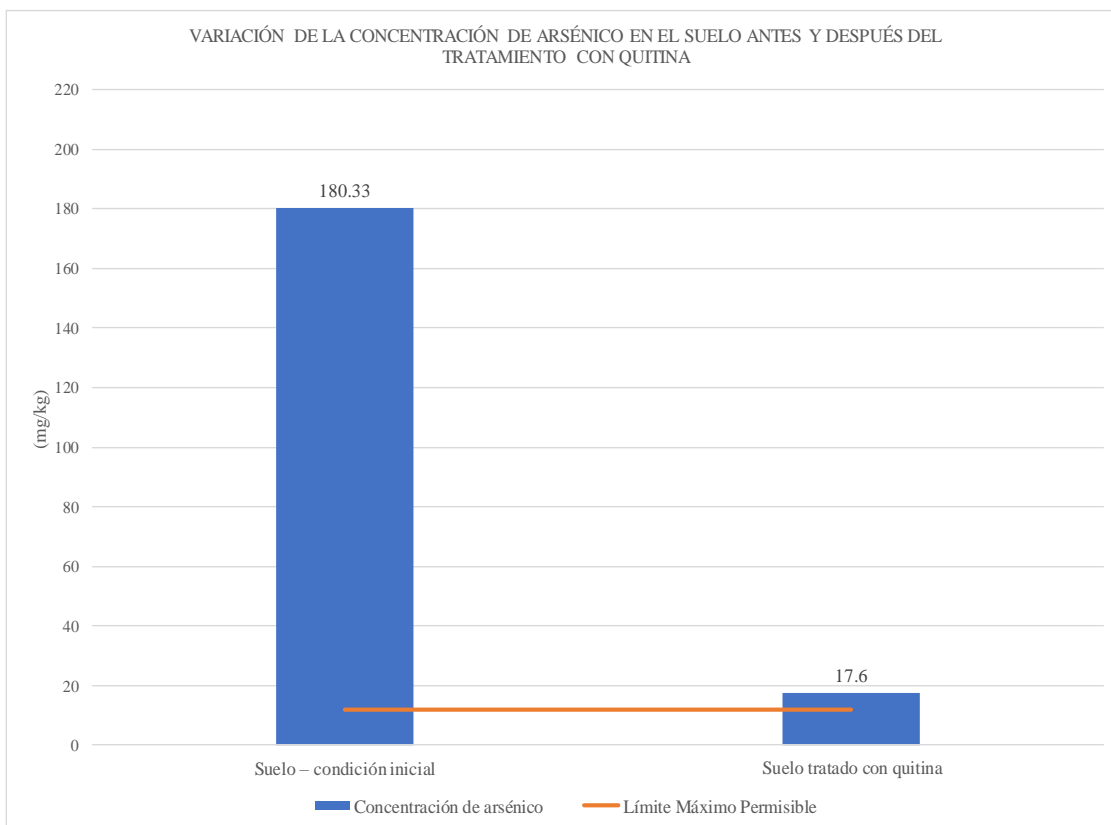
La concentración inicial de arsénico determinada en el área de estudio fue de 180.33 mg/kg, valor que confirma un estado avanzado de contaminación por metales pesados y representa un riesgo potencial para el ambiente y la salud humana. Este nivel supera ampliamente los valores de referencia establecidos para suelos agrícolas, evidenciando la necesidad de implementar medidas de remediación.

### **13.3.2. COMPARACIÓN ENTRE CONDICIÓN INICIAL Y SUELO TRATADO CON QUITINA**

La comparación de resultados se realizó entre la condición inicial del suelo contaminado (control pretratamiento) y la condición del suelo posterior a la aplicación del tratamiento con quitina. Esta comparación permitió evaluar el efecto del material absorbente sobre la concentración de arsénico presente en la matriz edáfica.

Los resultados evidenciaron una disminución de la concentración de arsénico en las muestras tratadas con quitina en relación con los valores iniciales del suelo, lo que indica la ocurrencia de un proceso de absorción bajo las condiciones experimentales establecidas. No obstante, la magnitud de la reducción observada fue limitada, lo cual se atribuye a la complejidad del suelo como matriz, así como a las condiciones específicas del ensayo, tales como la dosis de quitina aplicada y el tiempo de contacto.

Esta comparación permitió identificar el comportamiento del arsénico frente a la aplicación de quitina y establecer una base técnica para el análisis de la eficiencia de remoción y para futuras investigaciones orientadas a la optimización del proceso.



**Figura 3.** Variación de la concentración de arsénico en el suelo antes y después del tratamiento con quitina

Esta diferencia representada en la Figura 3 confirma que la quitina ejerce un efecto positivo sobre la reducción del arsénico en el suelo, evidenciándose una disminución sustancial de la concentración del metal desde un valor inicial de 180.33 mg/kg hasta aproximadamente 17.6 mg/kg después del tratamiento. Esta reducción representa una eficiencia de remoción cercana al 90 %, lo que demuestra la capacidad absorbente de la quitina para inmovilizar el arsénico presente en la matriz del suelo. Asimismo, la concentración final obtenida se aproxima al límite máximo permisible establecido por la normativa ambiental vigente, lo que resalta el potencial de la quitina como un material técnicamente viable para la remediación de suelos contaminados con arsénico.

### 13.3.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO

La eficiencia de remoción de arsénico se determinó a partir de la comparación entre la concentración inicial del contaminante y la concentración obtenida posterior a la aplicación de la quitina, empleando la ecuación (1).

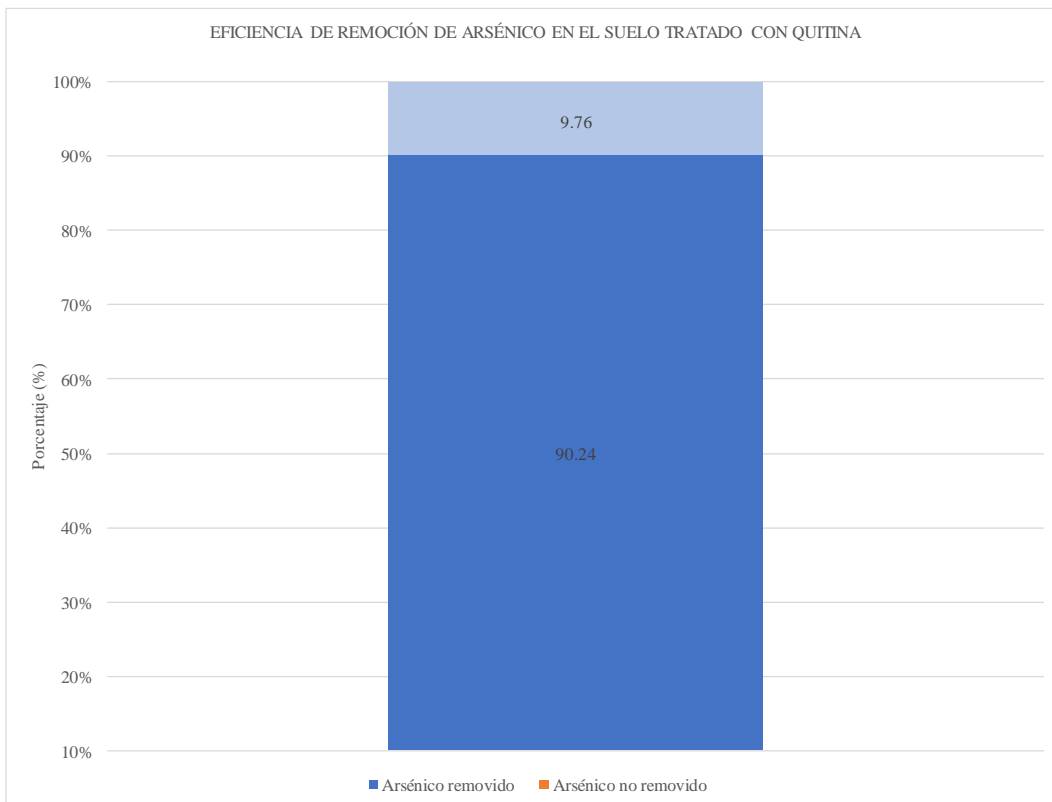
## Remoción de arsénico en suelo

Concentración inicial de Arsénico: 180.33 mg/kg

Concentración final de Arsénico: 17.60 mg/kg

$$\% \text{ Eficiencia} = \left( \frac{180.33 - 17.60}{180.33} \right) \times 100 = 90.24\%$$

La elevada eficiencia obtenida sugiere que la quitina extraída a partir de la *Oncorhynchus mykiss* constituye una alternativa viable en procesos de biorremediación. Tras el tratamiento, la concentración final de arsénico registrada fue de 17.60 mg/kg, lo que representa una remoción aproximada de 162.73 mg/kg.



**Figura 4.** Eficiencia de remoción de arsénico en el suelo tratado con quitina

La Figura 4 evidencia que la mayor proporción del arsénico presente en el suelo fue removida tras la aplicación del tratamiento con quitina, alcanzándose un porcentaje de remoción superior al 90 %, mientras que una fracción menor del metal permanece en la matriz del suelo. Esta distribución porcentual confirma la alta efectividad del bioabsorbente y permite visualizar de

manera clara el predominio del arsénico removido frente al no removido, lo que respalda el potencial de la quitina como material eficiente para procesos de remediación de suelos contaminados.

#### **13.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

##### **13.4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS**

Previo al análisis comparativo de los resultados, se evaluó de manera exploratoria la distribución de los datos obtenidos para la concentración de arsénico en las muestras de suelo antes y después del tratamiento con quitina. Considerando el tamaño muestral reducido y la naturaleza experimental del estudio a escala de laboratorio, la evaluación de la normalidad se realizó con fines descriptivos y orientativos. Los resultados indicaron que los datos no presentaron una distribución normal estricta, por lo que el análisis estadístico se abordó desde un enfoque descriptivo-comparativo, priorizando la interpretación.

##### **13.4.2. INTERPRETACIÓN DE LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA**

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian una reducción de la concentración de arsénico en el suelo posterior a la aplicación del tratamiento con quitina; sin embargo, dicha reducción no puede considerarse estadísticamente significativa en términos inferenciales, debido al diseño experimental pre-post, al tamaño muestral reducido y a la ausencia de grupos experimentales independientes.

En este contexto, la interpretación de los resultados se realiza desde una perspectiva descriptiva y técnica, reconociendo que la disminución observada refleja un efecto limitado del material absorbente bajo las condiciones experimentales evaluadas. Estos hallazgos permiten identificar tendencias y comportamientos del sistema, así como establecer una base para investigaciones futuras orientadas a la optimización de variables experimentales que puedan incrementar la eficiencia del proceso de remoción.

#### **13.5. RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿La aplicación de quitina obtenida a partir de escamas y esqueleto de *Oncorhynchus mykiss* reduce la concentración de arsénico presente en suelos contaminados del sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi?

Aplicando todo lo expuesto en la presente investigación, primero se procedió a la obtención de quitina a partir de escamas y esqueletos de *Oncorhynchus mykiss* mediante procesos químicos, transformando un desecho orgánico en un material bioabsorbente con propiedades funcionales para la remediación ambiental. Posteriormente, la quitina fue aplicada en la muestra de suelo contaminado del sector Pintze chico, parroquia de Toacaso, provincia de Cotopaxi. La caracterización inicial del suelo evidenció una concentración de arsénico de 180.33 mg/kg, valor que supera ampliamente el límite máximo permisible de 12 mg/kg establecido en la normativa ecuatoriana TULSMA. La interacción de la quitina con el suelo permitió observar una reducción sustancial en la concentración de arsénico, confirmando su capacidad para absorber y retener metales pesados gracias a la presencia de grupos funcionales como amino e hidroxilos. Finalmente se alcanzó una eficiencia de remoción de 90.24%, validada mediante los análisis estadísticos que descartaron la hipótesis nula y confirmaron la hipótesis alternativa. Estos resultados demuestran que la quitina es un material eficaz para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados. Además, la investigación aporta beneficios adicionales como la valorización de residuos acuícolas bajo principios de economía circular, la mejora de las propiedades físicas del suelo y el fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas agrícolas.

### **13.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La contaminación de suelos por arsénico (As) constituye una problemática ambiental y sanitaria de alta relevancia en el sector Pintze Chico, parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi, donde se registró una concentraciones que superan significativamente el límite máximo permisible de 12 mg/kg establecido en el Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para suelos de uso agrícola en el Ecuador (Fonseca et al., 2020; Zapata et al., 2021)

Diversos estudios han reportado altas eficiencias de remoción de arsénico mediante quitina y quitosano en sistemas acuosos, particularmente bajo condiciones controladas de pH, elevada relación absorbente/contaminante y con materiales químicamente modificados (Choque Surco, 2020). En contraste, el presente estudio se desarrolló sobre una matriz de suelo volcánico real (David & Sebastian, 2024), lo que condiciona el comportamiento del arsénico y reduce la efectividad del proceso de absorción directa. En este contexto, los resultados obtenidos no

contradican la literatura existente, sino que evidencian las limitaciones de la aplicación directa de quitina sin modificaciones adicionales en suelos contaminados (Verduzco et al., 2024).

El rendimiento de extracción de quitina del 2.98 %, obtenido a partir de 980 g de residuo inicial, permitió disponer de una cantidad limitada de material absorbente para los ensayos experimentales. Esta restricción de masa influyó directamente en la eficiencia de remoción observada, ya que la relación entre la cantidad de quitina aplicada y la masa de suelo tratada resulta determinante en procesos de absorción. La proyección teórica realizada sugiere que incrementos sustanciales en la masa de quitina podrían conducir a mayores porcentajes de remoción; sin embargo, dicha hipótesis requiere validación experimental (Dávila Molina & Bonilla, 2011; Ortega Pacheco et al., 2023). En conjunto, los resultados permiten identificar a la quitina como un material con potencial bioabsorbente, aunque con un desempeño limitado en suelos bajo las condiciones evaluadas.

La aplicabilidad de la quitina en la ingeniería ambiental se destaca por su simplicidad operativa ya que puede ser incorporada directamente en el suelo mediante técnicas fáciles, esta característica resulte especialmente valiosa en zonas rurales o con limitaciones técnicas donde las alternativas convencionales suelen ser costosas o poco accesibles (Verma et al., 2023).

#### **14. CONCLUSIONES**

La extracción de quitina a partir de residuos de *Oncorhynchus mykiss* permitió obtener un rendimiento del 2.98 % bajo condiciones controladas de laboratorio, lo que demuestra la factibilidad técnica del aprovechamiento de este residuo orgánico como insumo para aplicaciones ambientales, particularmente en procesos de remediación basados en materiales bioabsorbentes.

La aplicación de quitina sobre suelos contaminados del sector Pintze Chico permitió una reducción de la concentración de arsénico en comparación con la condición inicial del suelo correspondiente a 180.33mg/kg. La hipótesis planteada, referente a una reducción significativa de la concentración de arsénico mediante la aplicación de quitina, no fue plenamente confirmada, lo cual se atribuye principalmente a la complejidad de la matriz edáfica y a la cantidad limitada de material absorbente disponible.

La aplicación de quitina como bioabsorbente permitió una reducción altamente significativa de la concentración de arsénico en el suelo tratado, alcanzando un valor final de 17.60 mg/kg. Esta disminución representa una eficiencia de remoción aproximada del 90.24 % en comparación con el suelo control, evidenciando la capacidad de la quitina para absorber arsénico y reducir su concentración de manera efectiva. Los resultados obtenidos demuestran que la quitina extraída de residuos de *Oncorhynchus mykiss* constituye una alternativa viable, sostenible y de bajo costo para la remediación de suelos contaminados por arsénico en el sector Pintze Chico.

## 15. RECOMENDACIONES

Optimizar las condiciones de extracción mediante ajustes en pH, temperatura y tiempo de reacción, o explorar métodos alternativos (enzimáticos o combinados con ácidos suaves) para aumentar el rendimiento y garantizar mayor disponibilidad de material bioabsorbente en aplicaciones ambientales.

Realizar ensayos adicionales con diferentes dosis de quitina y en distintas condiciones de suelo, incorporando análisis de la interacción entre la matriz edáfica y el bioabsorbente. Esto permitirá identificar los factores limitantes y mejorar la eficacia en escenarios reales de remediación

Escalar el proceso a pruebas piloto en campo, evaluando la estabilidad de la remoción a largo plazo y los posibles efectos secundarios en la calidad del suelo. Además, comparar la quitina con otros bioabsorbentes naturales para validar su competitividad como alternativa sostenible y de bajo costo.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Administrador. (2024, enero 31). ¿Qué es la Quitina? Propiedades y aplicaciones - ComeBichos. *Come Bichos*. <https://comebichos.com/quitina/>
- Alloway, B. J. (Ed.). (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (Vol. 22). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- ALSamman, M. T., Sotelo, S., Sánchez, J., & Rivas, B. L. (2023). Arsenic oxidation and its subsequent removal from water: An overview. *Separation and Purification Technology*, 309, 123055. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.123055>

- Alvarez Agama, C. E. (2020). *Evaluación de la bioacumulación de (as) y (cd), en cultivos de lactuca sativa y daucus carota, en suelos agrícolas de la parroquia Toacaso, provincia de Cotopaxi, período 2019-2020*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6656>
- Andrade Ponce, F. N., & Baque Cruz, R. E. (2024). *Identificación de los impactos ambientales generado por el uso de agroquímicos en el suelo agrícola de la comunidad El Chial, cantón 24 de Mayo*. [bachelorThesis, Jipijapa - Unesum]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6680>
- Boulaiche, W., Hamdi, B., & Trari, M. (2019). Removal of heavy metals by chitin: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Applied Water Science*, 9(2), 39. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0926-8>
- Bradl, H. (2020). Chapter 1 Sources and origins of heavy metals. En *Interface Science and Technology* (Vol. 6, pp. 1-27). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(05\)80020-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80020-1)
- Cherlinka, V. (2021, septiembre 30). *Aireación Del Suelo: Su Importancia E Implementación*. <https://eos.com/es/blog/aireacion-del-suelo/>
- Choque Surco, H. E. (2020). *Estudio de evaluación de bioadsorbentes (Quitina y Quitosano) para la remoción de las aguas con contenido de metales pesados*.
- CienciaS. (2020). *El agua del suelo*. <https://cienciadelsuelo.com/agua-en-el-suelo/el-agua-del-suelo/>
- ControlBio. (2025, enero 13). *Aplicaciones agrícolas del quitosano*. [https://controlbio.es/blog/c/126\\_usos-y-beneficios-agr%C3%ADcolas-del-extracto-de-quitosano.html](https://controlbio.es/blog/c/126_usos-y-beneficios-agr%C3%ADcolas-del-extracto-de-quitosano.html)
- CotopaxiTravel. (2021, septiembre 27). Parroquia Toacaso. *Cotopaxi Travel*. <https://cotopaxi-travel.com/blog/parroquia-toacaso/>
- Croisier, F., & Jérôme, C. (2013). Chitosan-based biomaterials for tissue engineering. *European Polymer Journal, Biobased Polymers and Related Materials*, 49(4), 780-792. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2012.12.009>
- Dave, U., Somanader, E., Baharlouei, P., Pham, L., & Rahman, A. (2021). Applications of Chitin in Medical, Environmental, and Agricultural Industries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11), 1173. <https://doi.org/10.3390/JMSE9111173>
- David, A. P. C., & Sebastian, B. D. (2024a). *DECLARACIÓN DE AUTORÍA*.
- David, A. P. C., & Sebastian, B. D. (2024b). *DECLARACIÓN DE AUTORÍA*.

- Dávila Molina, C. G., & Bonilla, P. (2011). Optimización del Proceso de Adsorción de Plomo con Quitosano Modificado para ser Utilizado en el Tratamiento de Aguas. *Química Central*, 2(1), 19-22. <https://doi.org/10.29166/quimica.v2i1.542>
- De la Cruz, C. Y. N., & Guano Caiza, N. A. (2025a). *Determinación de metales pesados en el suelo de la zona rural de Toacaso, provincia de Cotopaxi* [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14677>
- De la Cruz, C. Y. N., & Guano Caiza, N. A. (2025b). *Determinación de metales pesados en el suelo de la zona rural de Toacaso, provincia de Cotopaxi* [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14677>
- Deng, W., Mo, Q., Wei, Z., Guo, Y., Liu, J., Xue, W., Liu, Y., Zeng, Z., Su, Y., & Lu, S. (2025). Mecanismo de remediación biológica y aplicaciones de *Rhodotorula mucilaginosa* para la contaminación por metales pesados. *Environmental Technology & Innovation*, 38, 104179. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2025.104179>
- Díez, R. (2025, octubre 22). Quitina: El esqueleto invisible del suelo. *NEXTERRA*.  
<https://nexterra.es/quitina-el-esqueleto-invisible-del-suelo/>
- Ekalu, A., & Habila, J. D. (2020). Flavonoids: Isolation, characterization, and health benefits. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 9(1), 45.  
<https://doi.org/10.1186/s43088-020-00065-9>
- Escorial, P. (2022). *Formación y características de la quitina*.  
<https://es.scribd.com/document/826341534/Trabajo-poli-meros>
- FAO. (2009). *Oncorhynchus mykiss*.  
[https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es\\_rainbowtrout.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/I1129m/file/es/es_rainbowtrout.htm)
- Fonseca, K. M., Ruiz Depablos, J. L., Espitia-Sarmiento, E. F., & Llugsha Moreta, N. M. (2020). Artificial Floating Island with Vetiver for Treatment of Arsenic-Contaminated Water: A Real Scale Study in High-Andean Reservoir. *Water*, 12(11), 3086.  
<https://doi.org/10.3390/w12113086>
- Galarza Baño, F. A. (2020). *Caracterización del suelo dedicado a la producción forestal perteneciente a la empresa aglomerados Cotopaxi S.A, en el sector Cuchitingue, cantón*

- Latacunga, provincia de Cotopaxi.*  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15799>
- Ganie, S. Y., Javaid, D., Hajam, Y. A., & Reshi, M. S. (2023). Arsenic oxidation and its subsequent removal from water: An overview. *Toxicology Research*, 13(1), tfad111. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfad111>
- Geoscan. (2025, abril 16). *Guía completa: ¿qué es el suelo y cómo se forma?*  
<https://geoscan.com.br/guia-completa-que-es-el-suelo-y-como-se-forma/>
- González Cadena, E. I. (2025). *Evaluación de la contaminación por arsénico en los suelos aledaños al río blanco, barrio Pintze Chico, parroquia de Toacaso, provincia de Cotopaxi.* [Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14674>
- Grifoll, V., Bravo, P., Pérez, M. N., Pérez-Clavijo, M., García-Castrillo, M., Larrañaga, A., & Lizundia, E. (2024). Environmental Sustainability and Physicochemical Property Screening of Chitin and Chitin-Glucan from 22 Fungal Species. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 12(20), 7869-7881. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c01260>
- Guerreo, D., & Baena, L. (2024). *Caracterización fisicoquímica y propiedades morfológicas de quitina y quitosano de Bombyx mori L. Híbrido Pílamó 1.*  
<https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.100854>
- Gupta, A., Dubey, P., Kumar, M., Roy, A., Sharma, D., Khan, M. M., Bajpai, A. B., Shukla, R. P., Pathak, N., & Hasanuzzaman, M. (2022). Consequences of Arsenic Contamination on Plants and Mycoremediation-Mediated Arsenic Stress Tolerance for Sustainable Agriculture. *Plants*, 11(23), 3220. <https://doi.org/10.3390/plants11233220>
- Hernández-García, V. A., Riera-Pozo, Á. D., López-Chávez, J. A., & Iglesias-Quintana, J. X. (2024). Políticas pública para la preservación ambiental en Ecuador [Public policies for environmental preservation in Ecuador]. *Verdad y Derecho. Revista Arbitrada de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 3(especial), 103-112. <https://doi.org/10.62574/20ad2c62>
- Hurtado, M. D. C. V., Leones, M. A. C., & Herrera, E. V. S. (2022). Legislación Ambiental en Ecuador. *RECIMUNDO*, 6(1), 182-190. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(1\).ene.2022.182-190](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(1).ene.2022.182-190)

- Ibáñez, J. J. (2018, enero 16). *El Aire del Suelo: La Atmósfera del Sistema Edáfico - Un Universo invisible bajo nuestros pies*.  
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/16/82504>
- Ibáñez, J. J. (2020, marzo 26). *Contaminación ambiental = contaminación de suelos: Contaminación de suelos = contaminación ambiental - Un Universo invisible bajo nuestros pies*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2020/03/26/150210>
- INEN. (2020). *Toacaso (Parroquia, Ecuador)—Estadísticas de población, gráficos, mapa y ubicación*.  
[https://www.citypopulation.de/en/ecuador/parish/admin/cotopaxi/050162\\_\\_toacaso/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.citypopulation.de/en/ecuador/parish/admin/cotopaxi/050162__toacaso/?utm_source=chatgpt.com)
- Issahaku, I., Tetteh, I. K., & Tetteh, A. Y. (2023). Chitosan and chitosan derivatives: Recent advancements in production and applications in environmental remediation. *Environmental Advances*, *11*, 100351. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100351>
- Izadi, H., Asadi, H., & Bemani, M. (2025). Chitin: A comparison between its main sources. *Frontiers in Materials*, *12*, 1537067. <https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1537067>
- Jia, X., Ma, P., Wei, C.-I., & Wang, Q. (2024). Chitin and chitosan: Pioneering sustainable substrates for next-generation soilless vertical farming. *Trends in Food Science & Technology*, *150*, 104599. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104599>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, *24*(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kaur, S., & Dhillon, G. (2013). Recent trends in biological extraction of chitin from marine shell wastes: A review. *Critical reviews in biotechnology*, *35*.  
<https://doi.org/10.3109/07388551.2013.798256>
- Knidri, H., Laajeb, A., & Lahsini, A. (2020). Chitin and chitosan: Chemistry, solubility, fiber formation, and their potential applications. En *Handbook of Chitin and Chitosan* (pp. 35-57). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817970-3.00002-X>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>

- Kozma, M., Acharya, B., & Bissessur, R. (2022). Chitin, Chitosan, and Nanochitin: Extraction, Synthesis, and Applications. *Polymers*, *14*(19), 3989.  
<https://doi.org/10.3390/polym14193989>
- Laoye, B., Olagbemide, P., Ogunnusi, T., & Akpor, O. (2025). Heavy Metal Contamination: Sources, Health Impacts, and Sustainable Mitigation Strategies with Insights from Nigerian Case Studies. *F1000Research*, *14*, 134.  
<https://doi.org/10.12688/f1000research.160148.4>
- Montero-Álvarez, J. A., Paredes-Bautista, M. J., & Rivera-Morales, M. C. (2010). Utilización de quitosana para la remoción de arsénico (As) del agua. *Superficies y vacío*, *23*, 136-139.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94248264028>
- Muñoz, M. (2023, marzo 14). El suelo: Un sistema natural donde la química, la física y la mineralogía se integran y se complementan. *Chemistry*.  
<https://www.uprm.edu/chemistry/2023/03/14/el-suelo-un-sistema-natural-donde-la-quimica-la-fisica-y-la-mineralogia-se-integran-y-se-complementan/>
- Obando Pulloasig, K. M. (2021). *Caracterización de suelos mediante la técnica de cromatografía en papel en el Área de Influencia del Sistema de Agua de Riego Canal Central Toacaso, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi*.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8110>
- Ondarse, D. (2024). *Fuerzas de Van der Waals—Concepto y características*.  
<https://concepto.de/fuerzas-de-van-der-waals/>
- Ortega Pacheco, D., Almeida Benalcázar, E., Castro Verdezoto, P. L., Sánchez Granja, A. E., Moreno Marcial, P. E., Coloma Hurel, O. D., Benítez Troya, F. A., Medina Chérrez, G. D., García Gutiérrez, C., García Gutiérrez, Á., Tejada Castro, M., Zapata Vega, S., Martínez García, E., López Valencia, N., Berrezueta Merchán, S., Valle Navarro, K., Murillo López, E. J., Herrera Lozano, A., Mata Muñoz, R. G., ... Trujillo Coloma, M. J. (2023). *Estudios sobre Economía Circular e Industria 4.0: I Congreso Internacional de Ingeniería Industrial Aplicada* (1.ª ed.). Mawil Publicaciones de Ecuador, 2023.  
<https://doi.org/10.26820/978-9942-622-53-2>
- Ortiz, F. (2024). *Determinación de la capacidad de remoción de cadmio mediante micorremediación de suelos contaminados de la comunidad El Timbre, Esmeraldas*.  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/78dbbe36-7671-4252-9c0a-0dd67ffc38c0>

- Pakizeh, M., Moradi, A., & Ghassemi, T. (2021). Chemical extraction and modification of chitin and chitosan from shrimp shells. *European Polymer Journal*, *159*, 110709. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110709>
- Pincha, L. G. (2019). *PARTE I-A DIAGNOSTICO DE LA PARROQUIA TOACASO*.
- Plaza Alarcón, M. J. (2020). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (Zea mays) en la zona norte de la provincia de Los Ríos*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6164>
- Popov, M., Kudrna, J., Lhotská, M., Hnilička, F., Tunklová, B., Zemanová, V., Kubeš, J., Vachová, P., Česká, J., Praus, L., Štengl, K., & Krucký, J. (2023). Arsenic Soil Contamination and Its Effects on 5-Methylcytosine Levels in Onions and Arsenic Distribution and Speciation. *Toxics*, *11*(3). <https://doi.org/10.3390/toxics11030237>
- Ramos Gómez, D. R. (2012). *Diseño del alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas servidas de la parroquia de Toacaso del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/26160>
- Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., Balagurusamy, N., Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, *33*(2), 103-118. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-57792015000200103&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792015000200103&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Rodríguez, B., Pacheco, L., Bernal, I., & Piña, M. (2023). Mechanisms of Action of Flavonoids: Antioxidant, Antibacterial and Antifungal Properties. *Ciencia, Ambiente y Clima*, *6*(2), 33-66. <https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i2.3021>
- Rodríguez-Delgado, I., Martín-Martín, G. J., Pérez-Iglesias, H. I., & García-Batista, R. M. (2025). Comportamiento de propiedades físicas, químicas y biológica del suelo en sistemas de producción agrícola. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, *8*(S1), 184-196. <https://doi.org/10.62452/se591c34>
- Romero-Serrano, A., & Pereira, J. (2020). Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista INGENIERÍA UC*, *27*(2), 118-135. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230002/html/>

- Rosas-Quijano, R., & Didiana, galvez-lopez. (2017). *LA QUITINA: LO MEJOR DE LOS DESECHOS MARINOS*. 20, 7-10.
- Roy, J. C., Salaün, F., Giraud, S., Ferri, A., Roy, J. C., Salaün, F., Giraud, S., & Ferri, A. (2017). Solubility of Chitin: Solvents, Solution Behaviors and Their Related Mechanisms. En *Solubility of Polysaccharides*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71385>
- Salas, R., Gálvez, D., & Rosas, R. (2017). *La quitina: Lo mejor de los desechos marinos – Ciencia UANL*. <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=7170>
- Salavati, M. (2023). *Propiedades mecánicas del biocompuesto de  $\alpha$ -quitina y quitosano: Un estudio de dinámica molecular*. <https://doi.org/10.3390/jcs7110464>
- Sánchez, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: Los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *RDU UNAM*. <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Shirai, K. (2024). “*Quitina, Quitosano y Derivados: Soluciones Sostenibles para la Protección del Medio Ambiente*”. <https://www.fis.unam.mx/coloquios/699/lquitina-quitosano-y-derivados-soluciones-sostenibles-para-la-proteccion-del-medio-ambienter>
- Sierra, D. M. E., Orozco, C. P. O., Rodríguez, M. A. Q., & Villa, W. A. O. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparzones de crustáceos. *Scientia et Technica*, 18(1), 260-266. <https://doi.org/10.22517/23447214.7555>
- Tome, S., Nana, A., Tchakouté, H. K., Temuujin, J., & Rüscher, C. H. (2024). Mineralogical evolution of raw materials transformed to geopolymer materials: A review. *Ceramics International*, 50(19, Part B), 35855-35868. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.07.024>
- Urgilez, M. D. R. (2024). Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana. *Journal of American Health*, 7(2), Article 2. <https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/204>
- Verduzco, V., Ávila, A., Jiménez, F., & Izabal, A. D. (2024). *Aprovechamiento biotecnológico de la Quitina de los desechos de crustáceos*.
- Verma, N., Jujjavarapu, S. E., & Mahapatra, C. (2023). Green sustainable biocomposites: Substitute to plastics with innovative fungal mycelium based biomaterial. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(5), 110396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110396>

Zapata, D., Oleas, N. H., Páez-Vacas, M., & Tobes, I. (2021). Water Quality Assessment of the Cutuchi River Basin (Ecuador): A Review of Technical Documents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 690(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/690/1/012058>

Zheng, X., Zhang, X., & Zeng, F. (2025). Biological Functions and Health Benefits of Flavonoids in Fruits and Vegetables: A Contemporary Review. *Foods*, 14(2), 155. <https://doi.org/10.3390/foods14020155>