



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

### CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

**“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE CINÉTICA DE REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020-2021.”**

---

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieras en Medio Ambiente

**Autoras:**

Iles Guamán Jessica Stefania  
Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis Ing. Mg.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo 2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Jessica Stefania Iles Guamán, con cédula de ciudadanía No. 1722482252; y Jenny Elizabeth Vaca Veintimilla, con cédula de ciudadanía No. 0503688285; declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: “Determinación de un modelo de Cinética de Reacción de Adsorción de Arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, en la Provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021”, siendo el Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 12 de marzo del 2021



Jessica Stefania Iles Guamán  
Estudiante  
CC: 1722482252



Jenny Elizabeth Vaca Veintimilla  
Estudiante  
CC: 0503688285



Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña  
Docente Tutor  
CC: 0401332101

## **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 **ILES GUAMÁN JESSICA STEFANIA**, identificada con cédula de ciudadanía **1722482252** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ph.D. Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga, en calidad de Rector Encargado 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.- LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“Determinación de un modelo de Cinética de Reacción de Adsorción de Arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, en la Provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021”**, 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: Abril 2014 - Agosto 2014 – Finalización: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo.- 26 de enero del 2021

Tutor: Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña

Tema: “Determinación de un modelo de Cinética de Reacción de Adsorción de Arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, en la Provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021”

**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, **LA 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 **LA 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 **LA 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 **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

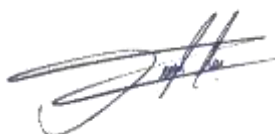
**CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.-** **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**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 12 días del mes de marzo del 2021.



Jessica Stefania Iles Guamán  
**LA CEDENTE**

Ph.D. Nelson Chiguano Umajinga  
**EL CESIONARIO**

## **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 **JENNY ELIZABETH VACA VEINTIMILLA**, identificada con cedula de ciudadanía **0503688285** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ph.D. Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga, en calidad de Rector Encargado 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 en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“Determinación de un modelo de Cinética de Reacción de Adsorción de Arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, en la Provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021”**, 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: Abril 2013 - Agosto 2013 – Finalización: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo.- 26 de enero del 2021

Tutor: Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña

Tema: “Determinación de un modelo de Cinética de Reacción de Adsorción de Arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, en la Provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021”

**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:

- f) 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.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) 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 12 días del mes de marzo del 2021.



Jenny Elizabeth Vaca Veintimilla  
**LA CEDENTE**

Ph.D. Nelson Chiguano Umajinga  
**EL CESIONARIO**

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

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

**“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE CINÉTICA DE REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020- 2021”** de Iles Guamán Jessica Stefania y Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 12 marzo del 2021



Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña

**DOCENTE TUTOR**

**CC: 0401332101**

## AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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, las postulantes: Iles Guamán Jessica Stefania y Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth con el título de Proyecto de Investigación: “DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE CINÉTICA DE REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020- 2021 ” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 12 de marzo del 2021



Lector 1 (Presidente)

Ing. Ph.D. Vicente Córdova Yanchapanta

CC: 1801634922



Lector 2

Prof. Mg. Joseline Ruiz Depablos

CC: 1758739062



Lector 3

Lcda. Mtr. Kalina Fonseca Largo

CC: 1723534457



## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por estar espiritualmente presente, por guiar mi camino, por no dejarme caer, mantenerme siempre fuerte, por ayudarme a nunca perder la fe y ayudarme a sobre llevar esos momentos difíciles por los que pasa un estudiante, sin él, seguramente hubiese desistido.

A mi hermosa familia, por todo lo bueno, el apoyo y el cariño, agradezco especialmente a mi madre y a mi padre, ya que con su esfuerzo, ejemplo y buenos valores me ayudaron a cumplir mis objetivos, son mi pilar fundamental y mi soporte, gracias por verme obsequiado la más valiosa herencia, que es la del estudio.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales y a la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente. por haberme abierto las puertas en su seno científico, así como también a los docentes que me impartieron su saber. A mi tutor de tesis Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña, por haberme guiado, a su paciencia y colaboración para culminar esta investigación.

Jessica Stefania Iles Guamán

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios y a mis padres, Rosa y Juan por ser el pilar fundamental de mi vida; por sus consejos, apoyo y sobre todo por creer y confiar en mí, así como en mis hermanos y demás familiares que han estado todo el tiempo.

A Patricio, gracias por estar pendiente de mí y por motivarme a seguir cumpliendo mis metas junto con nuestro hijo/a, que sin imaginar ha completado esta felicidad.

Gracias a Ing. Mg. José Agreda que a través de su paciencia y enseñanza he logrado hacer realidad uno de mis sueños, y al resto de mis maestros que, a través de sus enseñanzas, he podido recorrer todo este camino de aprendizaje, en la prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi.

Jenny Elizabeth Vaca Veintimilla

## **DEDICATORIA**

Me permito dedicar este proyecto y todos mis logros a mi familia y amigos que siempre han estado en los momentos malos y buenos. A todas las personas que me han dado la oportunidad de trabajar y estudiar, que me han dado consejos, que me han ayudado económicamente y emocionalmente, a todos ellos que han hecho que culmine mi carrera con éxito. A mis dos angelitos, mis sobrinas, que llegaron a mi vida a llenar mi corazón de alegría y hacerme sentir ese amor que nunca antes lo había sentido.

Y dedico este arduo trabajo a una persona muy especial, a un amigo que supo acompañarme desde el comienzo y hasta el final de mi carrera, el que siempre estuvo pendiente en los momentos más difíciles, el que sabe el trabajo y el esfuerzo que hice día a día para poder cumplir mi objetivo, David. Gracias por todo, por estar conmigo en este largo camino y ahora por ayudarme en este momento tan importante de mi vida profesional.

Jessica Stefania Iles Guamán

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto principalmente a mis padres Rosa y Juan por su cariño, la paciencia que siempre tuvieron; Por el sacrificio, el esfuerzo y el trabajo que han hecho durante este tiempo, para que no me falte nada y pueda seguir estudiando, estoy orgullosa y feliz de tenerlos como mis padres y que puedan ver que logré alcanzar una de mis metas.

Dedico a mis hermanos, Mariana, Luis y Katty por apoyarme siempre, y por darme consejos para cumplir con todo lo propuesto, igualmente para Ana, Paul, gracias por que han estado pendientes en cada paso que doy, a mis sobrinos y a toda mi familia que me han motivado para seguir adelante en este arduo caminar.

Y por último dedico a Patricio por estar en todo momento, por ese apoyo incondicional y por ese amor que ha hecho que esté presente, junto con nuestro hijo/a que sin imaginar ha estado en mi vientre llenándome de fortaleza y felicidad para culminar con lo propuesto.

Jenny Elizabeth Vaca Veintimilla

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE CINÉTICA DE REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020- 2021”.**

**Autoras:** Iles Guamán Jessica Stefania  
Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth

### RESUMEN

El Arsénico se ha convertido en un problema global y el Ecuador no es la excepción, siendo así un reto ambiental al tratar disminuir la concentración de este metal pesado en el suelo, existe escasas investigaciones de métodos de remoción por lo que se decidió estudiar el tema. La presente investigación tiene como objetivo determinar un modelo de cinética de reacción de adsorción de arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, que se encuentra ubicada en la parte norte de la reserva en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, coordenadas Norte x; 756102 y; 9925455 Sur x; 756150 y; 9925048 a 4.125 m.s.n.m.

En el presente estudio se realizó como primera parte el trabajo de campo, el cual se refiere al muestreo en el lugar de estudio con el método de rejilla aleatorio para los 22 puntos, y luego se realizó el trabajo de laboratorio, el cual se realizó la contaminación con el trióxido de arsénico en el laboratorio de la universidad Técnica de Cotopaxi, para ello se trabajó con una solución de 1 litro y 500 ug/l de arsénico inicial, lo cual está dentro de la norma de Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles) del acuerdo ministerial 097A.

La ecuación de reacción llevó al análisis de laboratorio para obtener la concentración de adsorción de As sometidos a diferente tiempo de agitación: 0,5, 1, 2, 3, 6, 8, 12, 24 y 48 horas. Se utilizó el método de colorimetría con el kit de medición de arsénico de Marca LaMotte.

Para la velocidad de reacción se utilizó un modelo cinético de primer orden. Este modelo evidencio concentraciones finales similares lo que llevo a obtener tres modelos, siendo el más representativo el modelo tres, corroborado con el coeficiente de determinación y el margen de error, este modelo corresponde a las muestras M3-M6-M10-M12-M15-M17-M20-M22, dando un modelo ajustable para concentración en cualquier intervalo de tiempo, se determinó que el suelo corresponde a un 1% de grava, 63% de arena y 32% fino, y Ph 5,56 considerando moderadamente ácido, sólidos volátiles 17,60 % de materia orgánica y para Fe 1450 Alto, Mn 6,70 medio, Mg 0,90 alto, Ca 6, 12 alto, Cu 5,90 Alto y concentración de Al a 7,50 que es alto, a una altura de 4065 msnm a 4190 msnm, dando una adsorción del 80% de As, y a tales características la velocidad de reacción es de 6,18 (ug/Lh).

**Palabras Claves:** suelo, contaminación, adsorción, constante y velocidad.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: “DETERMINATION OF A KINETIC MODEL OF ARSENIC ADSORPTION REACTION FROM THE SOIL OF THE ILINIZAS ECOLOGICAL RESERVE, IN THE PROVINCE OF COTOPAXI DURING THE PERIOD 2020-2021”**

**Authors:** Iles Guamán Jessica Stefania  
Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth

### ABSTRACT

Arsenic has become a global problem and Ecuador is no exception, thus being an environmental challenge when trying to reduce the concentration of this heavy metal in the soil, there is little investigation on removal methods, so it was decided to study the topic. The present research aims to determine a model of arsenic adsorption reaction kinetics from the soil of the Los Ilinizas Ecological Reserve, which is located in the northern part of the reserve in the Cotopaxi province, Ecuador, North coordinates x; 756102 y; 9925455 South x; 756150 and; 9925048 at 4.125 m.s.n.m.

In the present study, the field work is carried out as the first part which refers to the sampling in the study place with the random grid method for the 22 points, and then the laboratory work was carried out, which was carried out with the contamination with arsenic trioxide in the laboratory of the Cotopaxi Technical University, for this we worked with a solution of 1 liter and 500 ug/l of initial arsenic, which is within the standard of Remediation Criteria (Maximum Values Permissible) established in ministerial agreement 097A.

The reaction equation led to laboratory analysis to obtain the adsorption concentration of As subjected to different stirring times: 0.5, 1, 2, 3, 6, 8, 12, 24 and 48 hours. The colorimetry method was used with the LaMotte Brand arsenic measurement kit.

The first order kinetic model was used for the reaction rate. This model showed similar final concentrations, which led to obtaining three models, the most representative being model , corroborated with the coefficient of determination and the margin of error, this three model corresponds to the samples M3-M6-M10-M12-M15 -M17-M20-M22, being giving an adjustable model for concentration in any time interval, it was determined that the soil corresponds to 1% gravel, 63% sand and 32% fine, and Ph 5.56 considering moderately acid, in volatile solids 17.60% of organic matter and for Fe 1450 High, Mn 6.70 medium, Mg 0.90 high, Ca 6, 12 high, Cu 5.90 High and Al concentration at 7.50 which is high, at a height of 4065 m.s.n.m. to 4190 m.s.n.m., giving a 80% of As, adsorption and with such characteristics the reaction rate is 6.18 (ug / Lh).

**Keywords:** soil, contamination, adsorption, constant and speed.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AGRADECIMIENTO .....	ix, x
DEDICATORIA.....	xi, xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	xx
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
4. BENEFICIARIOS .....	5
5. OBJETIVOS.....	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	9
7.1. Arsénico.....	9
<b>7.1.1. Generalidades.....</b>	<b>9</b>
<b>7.1.2. Propiedades .....</b>	<b>10</b>
7.2. Arsénico en el ambiente y fuentes de contaminación.....	11
7.3. Arsénico en rocas y minerales .....	12
7.4. Arsénico en el agua.....	15

7.5.	Arsénico el suelo.....	16
7.5.1.	<i>Suelo</i> .....	16
7.5.2.	<i>Calidad del suelo</i> .....	16
7.5.3.	<i>Estructura del suelo</i> .....	17
7.5.4.	<i>Textura del suelo</i> .....	17
7.5.5.	<i>Composición física del suelo</i> .....	17
7.5.6.	<i>Composición química del suelo</i> .....	17
7.5.7.	<i>La contaminación del suelo</i> .....	17
7.5.8.	<i>En los suelos, el arsénico</i> .....	18
7.5.9.	<i>Aspectos geoquímicos que controlan la presencia de arsénico</i> .....	18
7.5.10.	<i>Interacción agua-fase sólida: movilización y retención de arsénico</i> .....	20
7.6.	Toxicología y riesgos a la salud provocados por arsénico.....	22
7.6.1.	<i>Toxicidad</i> .....	23
7.6.2.	<i>Niveles de exposición y niveles máximos permisibles</i> .....	24
7.7.	Arsénico en Latinoamérica, Ecuador.....	24
7.8.	Cinética de reacción.....	27
7.8.1.	<i>Reacción química</i> .....	27
7.8.2.	<i>Cinética Química</i> .....	27
7.8.3.	<i>La cinética de adsorción</i> .....	28
7.8.4.	<i>La velocidad de las reacciones químicas</i> .....	28
7.8.5.	<i>Los modelos cinéticos de adsorción</i> .....	29
7.8.6.	<i>Orden de reacción</i> .....	29
7.8.7.	<i>Ecuación de velocidad integrada</i> .....	30
7.8.8.	<i>Mecanismos de reacción</i> .....	31
7.8.9.	<i>Molecularidad y orden de reacción</i> .....	32
7.8.10.	<i>Ley de velocidad</i> .....	32
7.9.	Muestreo.....	32



7.9.1.	<i>Plan de muestreo</i> .....	32
7.9.2.	<i>Tipos de muestreo</i> .....	32
8.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.....	33
9.	METODOLOGIA.....	34
9.1.	Tipos de investigación .....	34
9.1.1.	<i>Investigación descriptiva</i> .....	34
9.1.2.	<i>Investigación bibliográfica</i> .....	34
9.1.3.	<i>Investigación de campo</i> .....	34
9.1.4.	<i>Investigación analítica</i> .....	34
9.2.	Métodos .....	34
9.2.1.	<i>Método analítico – sintético</i> .....	35
9.2.2.	<i>Método inductivo</i> .....	35
a)	<i>Comparativo</i> .....	35
9.3.	Técnicas .....	35
9.3.1.	<i>Observación directa</i> . .....	36
9.3.2.	<i>Análisis de Datos</i> .....	36
9.4.	Instrumentos.....	36
9.5.	Área de estudio .....	37
9.6.	Muestreo de suelo. ....	39
9.6.1.	<i>Criterios de toma de muestras</i> .....	39
9.6.2.	<i>Determinación lugar de muestreo</i> .....	39
9.6.3.	<i>Muestreo estadístico</i> .....	40
9.6.4.	<i>Manejo de las muestras</i> .....	40
9.6.5.	<i>Etiquetado</i> .....	40
9.7.	Criterios de calidad del suelo.....	41
9.7.1.	<i>Arsénico en suelo agrícola</i> .....	41
9.8.	Diseño experimental .....	41

9.9.	Caracterización del adsorbente .....	41
9.10.	Medición del tiempo de equilibrio .....	42
<b>9.10.1.</b>	<b>Medición de arsénico .....</b>	<b>43</b>
9.11.	Cinética de reacción de adsorción .....	43
10.	ANALISIS RESULTADOS .....	44
10.1.	Medición del tiempo de equilibrio .....	44
10.2.	Cinética de adsorción .....	51
10.3.	Caracterización del adsorbente.....	53
10.4.	Margen de error .....	56
11.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
12.	IMPACTOS .....	58
13.	PRESUPUESTO.....	59
14.	CONCLUSIONES.....	61
15.	RECOMENDACIONES .....	62
16.	REFERENCIAS .....	63
17.	ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Beneficiarios.....	5
Tabla 2:	Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos. ....	6
Tabla 3:	Concentración de As en el ambiente. ....	9
Tabla 4:	Propiedades del As. ....	10
Tabla 5:	Minerales que contienen As en la naturaleza. ....	13
Tabla 6:	Concentraciones de As en minerales formadores de rocas. ....	14
Tabla 7:	Superficie de Adsorción del As.....	21
Tabla 8:	Leyes de velocidad según ordenes de reacciones químicas. ....	29
Tabla 9:	Integrado las leyes de velocidad.....	31

Tabla 10: Instrumentos .....	36
Tabla 11: Criterios de calidad de suelo agrícola.....	41
Tabla 12: Concentraciones totales.....	46
Tabla 13: Concentraciones del Modelo 1 de estudio.....	47
Tabla 14: Concentraciones del Modelo 2 de estudio.....	48
Tabla 15: Concentraciones del Modelo 3 de estudio.....	49
Tabla 16: Obtención de la constante.....	52
Tabla 17: Resultados de velocidad de los 3 modelos.....	53
Tabla 18: Análisis granulométrico. ....	54
Tabla 19: Resultados de pH.....	54
Tabla 20: Resultados para la identificación de sólidos volátiles. ....	54
Tabla 21: Resultado del Análisis de (Fe) (Mn) (Mg) (Cu) (Ca).....	55
Tabla 22: Concentración de Aluminio. ....	55
Tabla 23: Margen de error de los tres modelos. ....	56
Tabla 24: Presupuesto de la investigación.....	59
Tabla 25: Análisis de ph de las 22 Muestras .....	99
Tabla 26: Análisis granulométrico de las 22 muestras.....	100
Tabla 27: Resultados para la identificación de sólidos volátiles de las 22 muestras....	101
Tabla 28: Resultado del Análisis de (Fe) (Mn) (Mg) (Cu) (Ca) de las 22 muestras. ...	102
Tabla 29: Concentración de Aluminio de las 22 muestras. ....	103
Tabla 30: Análisis de las frecuencias de los parámetros de Atterberg.....	104
Tabla 31: Coordenadas de los puntos de muestreo. ....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Eh-pH para As a 25 ° C y 1 atmósfera.....	19
Figura 2: Especies de As. (a) Arsenito y (b) Arseniato versus pH.....	19
Figura 3: Curva de adsorción de As III y As V, versus el pH, se representa el rango de pH en el cual se produce la desorción de As. ....	20
Figura 4: Área de Adsorción del As. ....	26
Figura 5: Localización de concentraciones de As en afluentes de la Laguna de	

Papallacta.....	26
Figura 6: Tipos de Muestreo a) Aleatorio simple, b) Aleatorio estratificado, c) Sistemático Rejilla Rectangular, d) Sistemático Rejilla Polar. ....	33

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 1. ....	47
Gráfica 2: Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 2. ....	49
Gráfica 3: Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 3. ....	50
Gráfica 4: Modelo 1 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.....	52
Gráfica 5: Modelo 2 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.....	52
Gráfica 6: Modelo 3 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.....	52
Gráfica 7: Margen de error del modelo 1. ....	56
Gráfica 8: Margen de error del modelo 2. ....	56
Gráfica 9: Margen de error del modelo 3. ....	56

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de Ubicación de Muestreo de la Investigación.....	38
Ilustración 2: Puntos de muestreo.....	38

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título**

Determinación de un modelo de cinética de reacción de adsorción de arsénico del suelo de la reserva ecológica los Ilinizas, en la provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020- 2021.

**Fecha de inicio:** 4 de noviembre 2020

**Fecha de finalización:** 19 de marzo 2021

### **Lugar de Ejecución**

Parroquia San Juan de Pastocalle

Cantón Latacunga

Provincia de Cotopaxi

Zona 3 Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Facultad que Auspicia:**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

### **Carrera que Auspicia:**

Ingeniería Ambiental

### **Proyecto de Investigación Vinculado:**

Manejo y Conservación del Recurso Suelo

### **Nombre del equipo de Investigadores:**

#### **Tutor**

MSc. Agreda Oña José Luis

#### **Lectores**

Ing. Ph.D. Córdova Yanchapanta Vicente

MSc. Fonseca Largo Kalina Maricela

MSc. Ruiz de Pablos Josseline Luisa

#### **Autores**

Iles Guamán Jessica Stefania

Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth

**Área de Conocimiento:**

Recursos Naturales y Ciencias de la Tierra.

**Línea de investigación:**

Análisis y Conservación y Aprovechamiento de la Diversidad Local.

**Sub líneas de Investigación de la Carrera:**

Manejo y conservación del recurso suelo.

**Línea de Vinculación:**

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano y social.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El suelo es uno de los recursos naturales más sustanciales, fundamental para el desarrollo de los seres vivos, por lo que en la actualidad la contaminación del suelo ha sido uno de los grandes problemas en el mundo, es por eso que los elementos tóxicos que se encuentran en el suelo como, el azufre, aluminio, zinc y arsénico, causando enfermedades, es por eso que se debe garantizar la vida de las personas.

La contaminación se da de manera natural por incendios forestales, erupciones volcánicas, por la gran toxicidad sobre todo del arsénico, que por falta de retención en el suelo se vuelve perjudicial para todos los sectores que se benefician de las vertientes hidrográficas, por otro lado, de manera antropogénica, por la utilización de fertilizantes, pesticidas, intervención de Industrias.

En la provincia de Cotopaxi se ha identificado la presencia de arsénico a gran escala, en un estudio por parte de la secretaria nacional de agua, menciona que sobrepasan 0,1 mg/l en agua, siendo uno de los más grandes problemas que afecta a la población, por lo que contenido de arsénico es variable en el suelo, lo cual asemejan a diversos factores del páramo, en donde el mayor porcentaje del mismo se encuentra en las aguas subterráneas por acción de la lixiviación en los suelos, el problema de Arsénico en el suelo pueden verse principalmente expuestas a corto, mediano y largo plazo, en si a través de los alimentos y el agua, analizando de esta manera, se opta por determinar un modelo de cinética que ayude a identificar la capacidad de adsorción de arsénico en el suelo de los Ilinizas.

El presente proyecto de investigación pretende determinar un modelo de cinética de reacción, mediante la toma de 22 muestras representativas del suelo del páramo de los Ilinizas, llegando a obtener datos experimentales, y poder aplicar los cálculos químicos y matemáticos para identificar la capacidad de adsorción del arsénico y la velocidad que necesitan para moverse durante ciertos tiempos en las muestras de suelo, y los resultados servirán para aportar para futuros estudios y para que autoridades de la provincia de Cotopaxi mejoren o tomen alternativas en las plantas de tratamiento y así garantizando en pro de los seres vivos.

### 3. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El arsénico es uno de los metaloides muy tóxicos, se encuentra distribuido en todo el medio ambiente, proviene de fuentes naturales, actividad biológica, emisiones volcánicas y de actividades antropogénicas, es por ello que los niveles de arsénico cambian dependiendo de una región geográfica a otra. (Airam et al., 2015).

En América Latina y en países como Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, México ha sido los casos más graves notificados con contaminación con arsénico, se han encontrado en acuíferos de Afganistán, Brasil, Camboya, Canadá, China, Finlandia, Grecia, India, Japón y México. Detectado la presencia de arsénico en el suelo y específicamente en fuentes de agua, se debe a factores biológicos y antropogénicos por la explotación minera y refinación de metales por fundición que sobrepasan a los 12 mg/kg por el Acuerdo Ministerial 097 Norma Ecuatoriana. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel (Jimenez, 2018).

En la revista de (FAO, 2006) indican que países como Bangladesh registran problemas con el arsénico el cual “se origina en el lecho rocoso rico en arsénico de la cuenca del Río Brahmaputra, que filtra el agua potable bombeada a la superficie por miles de pozos entubados” por lo cual desde entonces UNICEF colabora en mejorar el acceso a agua consumible, por otra parte la OMS organizó una reunión consultiva regional (Nueva Delhi, 29 de abril - 1 de mayo de 1997) sobre medidas normativas y de mitigación (Rahman et al., 2001).

En la provincia de Cotopaxi, esto se ha demostrado en los suelos de la reserva natural Ilinizas, ya que el agua que fluye hacia abajo del Ilinizas recibe arsénico de una mina, según investigación de Senagua y el Ministerio del Ambiente en 2018 se encuentra que el arsénico existe de forma natural. Ocurre cuando se encuentra un fondo geoquímico de suelos, es decir, la contaminación antropogénica es baja y muy localizada. Estudios iniciales han demostrado que el arsénico está presente en el agua que proviene de 15 manantiales en el sur de Iliniza, que llegan a un gran manantial Rasuyaku y desde allí abastecen a unos 20.000 habitantes de Toacaso y algunos distritos de Tanicuchí, Guaytacama y Pastocalle. Uno de los manantiales se contaminaría (con más arsénico de lo normal) si pasara por una mina natural de este



metaloide en las laderas del Iliniza. Se tomó suelo del municipio de Toacaso en la provincia de Cotopaxi, el cual se encontraba contaminado con arsénico, se realizaron análisis físico-químicos, así como identificación microbiológica y análisis de la concentración de arsénico en suelo y plantas del volcán Ilinizas. (Lahora, 2018).

#### 4. BENEFICIARIOS

**Tabla 1:** Beneficiarios.

<b>Beneficiarios Directos</b>	Provincia de Cotopaxi
<b>Beneficiarios Indirectos</b>	Estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

#### 5. OBJETIVOS

##### **Objetivo General**

- Determinar un modelo de cinética de reacción de adsorción de arsénico del suelo de la reserva ecológica los Ilinizas, en la provincia de Cotopaxi durante el periodo 2020-2021.

##### **Objetivos Específicos**

- Identificar las características del adsorbente de las 22 muestras que fueron obtenidas de la reserva ecológica los Ilinizas.
- Determinar el tiempo de equilibrio de las muestras contaminadas con arsénico dispuesto a diferentes tiempos de agitación.
- Establecer la velocidad de adsorción mediante el modelo de cinética de reacción.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

**Tabla 2:** Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD (TÉCNICAS E INSTRUMENTOS)
<b>Identificar las características adsorbente de las 22 muestras que fueron obtenidas de la reserva ecológica los Ilinizas.</b>	Definir el área de estudio, georreferenciación y elaboración de un mapa de la zona de estudio.  Identificar las características físicas del adsorbente.	Selección de las 22 muestras de diferentes puntos de la Reserva Ecológica los Ilinizas.  Obtención de los parámetros físicos, granulométricos, ph, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Al del adsorbente.	Visitas in-situ, (Observación directa).  Determinación de coordenadas geográficas (Utilización de GPS).  Elaboración del mapa (Mediante un Software de Sistema de Información Geográfica: ArcGIS).  Para el muestreo se hizo una comparación con la normativa ambiental vigente (AM 097-A), Libro VI TULSMA, Anexo 2, Tabla 2.  Se acudió a laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (ACUERDO MINISTERIAL 097-A,

2015)también se recurrió al Laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

<p><b>Determinar el tiempo de equilibrio de las muestras contaminadas con arsénico dispuesto a diferentes tiempos de agitación.</b></p>	<p>Contaminar las 22 muestras con arsénico. Definir la ecuación de reacción del estudio.</p>	<p>Contaminación de las 22 muestras con arsénico mediante trabajo de laboratorio.</p>	<p>Para contaminación se utilizó una solución en equilibrio.</p>
<p>•</p>	<p>Calcular las concentraciones de arsénico un gramo de adsorbente en diferentes tiempos.</p>	<p>Obtención de la ecuación de reacción.</p>	<p>Mediante el trabajo de laboratorio, se agregó una solución a cada erlenmeyers y fueron colocados en el agitador orbital en diferentes tiempos.</p>
	<p>Determinar el tiempo de equilibrio del estudio.</p>	<p>Determinación de la cantidad de concentraciones de arsénico (adsorción).</p>	<p>Se dividieron las soluciones del adsorbente, se centrifugó y se midió por medio de reactivos de kit de arsénico metodología de (CEICA, 2021).</p>
		<p>Determinación el tiempo equilibrio idóneo.</p>	<p>Se analizó el tiempo de equilibrio idóneo mediante análisis en el laboratorio y revisión de estudios (Griffa et al., 2017) medios, digitales, libros y otros.</p>

---

<b>Establecer la velocidad de adsorción mediante el modelo de cinética de reacción.</b>	Determinar el orden de reacción para el modelo cinético.	Determinación de la ecuación de reacción de primer orden.	Experimentalmente se obtuvo la ecuación de primer orden.
	Establecer la constante de equilibrio.	Obtención de la constante de la velocidad.	Mediante el cálculo matemático se integró la ecuación de velocidad para la obtención de la constante de equilibrio, utilizando la calculadora científica.
	Obtener la velocidad de adsorción.	Obtención del modelo de cinética.	Los resultados se realizaron en un libro de Excel para la determinación del modelo de cinética.

---

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1. Arsénico

#### 7.1.1. Generalidades

El arsénico se encuentra en el ambiente, de forma orgánica e inorgánica. Distribuido geológicamente, que incluye arseniatos (60%), sulfuros y sales sulfurosas (20%) y una pequeña cantidad de arseniuros, óxidos y silicatos formando 250 minerales diferentes. En la corteza terrestre es de 2 ppm, en suelos de 5 a 13 ppm y en aguas subterráneas es menos de aproximadamente 0,1 ppm (Henke, 2009).

**Tabla 3:** Concentración de As en el ambiente.

Medio	Concentración
Aire	1,5 – 53 ng/m <sup>3</sup>
Lluvia	0,46 µg/L
Ríos	0,20 – 264 µg/L
Lagos	0,38 – 1000 µg/L
Agua subterránea (pozos)	1,0 – 1000 µg/L
Agua marina	0,15 – 6 µg/L
Suelo	0,1 – 1000 mg/kg
Sedimentos de ríos	5,0 – 4000 mg/kg
Sedimentos de lagos	2,0 – 300 mg/kg
Rocas ígneas	0,3 – 113 mg/g
Rocas metamórficas	0,0 – 143 mg/kg
Rocas sedimentarias	0,1 – 490 mg/kg

**Fuente:** (Satinder, 2008)

### 7.1.2. Propiedades

El arsénico tiene propiedades diferentes entre los metales y los no metales. Es el tercer elemento del grupo VA (quince) en la tabla periódica, y su símbolo es As. Puede presentarse en su estado natural en tres estados alotrópicos: negro, amarillo y gris, siendo este último el más estable. Es soluble en agua (Satinder, 2008). La Tabla 4 muestra las principales propiedades del arsénico en detalle.

**Tabla 4:** Propiedades del As.

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Símbolo Químico	As
Número Atómico	33
Peso Atómico	74,922
Punto de Fusión	614°C
Punto de Ebullición	817°C
Densidad	5,72 g/cm <sup>3</sup>
Estados de Oxidación	±3, 5
Electronegatividad	2,18
Radio Covalente	1,19 Å
Radio Atómico	1,39 Å
Configuración Electrónica	[Ar] 4s <sup>2</sup> 3d <sup>10</sup> 4p <sup>3</sup>
Grupo, período y bloque	15, 4, p
Electrones por nivel	2, 8, 18, 5

**Fuente:** (Henke, 2009)

El arsénico acuoso en forma de arsenito, arsenato y compuestos organoarsénicos puede ser el resultado de la disolución de minerales, las emisiones industriales o el uso de pesticidas. Ocurre de dos maneras: el arsénico inorgánico proviene de minerales, las emisiones industriales y pesticidas y el arsénico orgánico proviene de la acción biológica (Rice & Baird, 2012).

## **7.2. Arsénico en el ambiente y fuentes de contaminación**

El arsénico es un elemento natural y cancerígeno, se ha convertido en un problema por sus altas concentraciones alrededor del mundo, ocupa el vigésimo lugar en abundancia en la corteza terrestre, el decimocuarto en el agua de mar y el duodécimo en el cuerpo humano (Sharma & Sohn, 2009).

El arsénico se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos de arsénico inorgánico y con carbono e hidrógeno en el medio ambiente, para formar compuestos orgánicos en animales y plantas. El arsenito inorgánico As III es más tóxico que el arseniato orgánico As V (Matschullat, 2000).

La concentración media de As en la corteza terrestre es de 1,5 a 2,0 mg / kg, la concentración normal en la litosfera es de 0,2 a 15 mg / kg, el rango de concentración normal de As en el suelo es de 1 a 40 mg / kg, con un promedio de 5 mg / kg y menos de 1 µg / L en el medio acuático. El nivel de As en el suelo agrícola se informó en 6,3 mg / kg. (Adriano, 2001)(Kabata, 2000).

Las fuentes naturales de As antes de la Revolución Industrial eran la meteorización, la actividad volcánica (Adriano, 2001) y antropogénica como los residuos mineros, los rellenos sanitarios, las descargas de aguas residuales y las actividades agrícolas que ocupan casi el 60% de la contaminación As en los últimos tiempos (Cullen & Reimer, 1989)(Bhumbla & Keefer, 1994).

En el caso de la fuente natural, la contaminación (geológica natural) por arsénico es causada por la meteorización de la roca, los minerales y óxidos, así como la lixiviación del suelo (Smedley & Kinniburgh, 2002).

La contaminación antropogénica por arsénico se debe al uso de pesticidas, pesticidas, minas entre otros, estos han tenido efectos en el aire, agua y suelo.

Hay indicios de que en el siglo VIII los alquimistas árabes y persas, al señalar que los compuestos arsenicales como el oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) y el arsenolito ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) eran tóxicos, los usaban como escabificas y pesticidas. Incluso lo usaron en dosis muy bajas como remedio para enfermedades pulmonares, dolor de garganta, asma y tos. (Henke, 2009).

Usos de los compuestos de arsénico (Henke, 2009):

- Aditivos para pesticidas, insecticidas, herbicidas y fertilizantes.
- Proceso de elaboración de pigmentos, pinturas, tintes, vidrio, papel y adhesivos.
- Transistores, láseres y semiconductores.
- Preservantes de madera.
- Municiones y armas pesadas.
- Aditivos para manufactura del cuero.
- Embalsamamiento.

### **7.3. Arsénico en rocas y minerales**

Se han reconocido aproximadamente 200 minerales que contienen As, principalmente asociados con sulfuros, arseniatos, arsenitos y óxidos. (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Se hallan altas concentraciones en los depósitos de sulfuros. Los minerales de As más importantes son arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), realgar ( $\text{As}_4\text{S}_4$ ) y oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) que se asocia frecuentemente con depósitos minerales de Au, Cu, Sn, Ag, Zn y Pb y formas oxidadas, ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) (Smedley & Kinniburgh, 2002). El principal transportador de As en la mayoría de los minerales sulfurosos es la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) (Nordstrom et al., 2000).

La tabla 5 muestra los minerales As en la naturaleza. Los minerales de sulfuro, los minerales de óxido, los minerales de silicato y los minerales de carbonato tienen diferentes concentraciones de As.



**Tabla 5:** Minerales que contienen As en la naturaleza.

<b>MINERAL</b>	<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>OCURRENCIA</b>
Arsénico nativo	As	Vetas hidrotermales
Niquelina	NiAs	Vetas y noritas
Rejalgar	AsS	Vena, oropimente a menudo asociado, arcillas, calizas, depósitos de aguas termales
Oropimente	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Hidrotermales, hot springs, de origen de gasificación volcánica
Cobaltita	CoAsS	Depósitos de mucha temperatura en rocas metamórficas
Arsenopirita	FeAsS	Mineral de As, dominante en vetas
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	Vetas hidrotermales
Arsenolita	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mineral secundario por la oxidación de rejalgar, arsenopirita entre otros
Claudetita	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lo mismo que la Arsenolita
Escorodita	Fe <sub>3</sub> +AsO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Mineral secundario

**Modificado de:**(Smedley & Kinniburgh, 2002)

El arsénico está tanto en rocas ígneas, sedimentarias y menos frecuentes en metamórficas. Los valores medios para las rocas ácidas y básicas refieren concentraciones por lo general por debajo de 5 mg/kg (Jochen Bundschuh et al., 2006).

Rocas volcánicas y cenizas volcánicas suelen tener concentraciones altas de arsénico (Jochen Bundschuh et al., 2006).

Las rocas sedimentarias de arcilla, como las lutitas, tienen niveles de As significativamente más altos (<1 - 900 mg / kg) que las areniscas y calizas (<1 - 20 mg / kg). Las rocas de fosfato tienen un rango de <1 - 200 mg / kg (Cullen & Reimer, 1989).

**Tabla 6:** Concentraciones de As en minerales formadores de rocas.

<b>MINERAL</b>	<b>RANGO CONCENTRACIONES ARSÉNICO (mg/kg)</b>
<b>Sulfuros</b>	
Pirita	100 – 77000
Pirrotina	5 – 100
Marcasita	20 – 126000
Galena	5 – 10000
Esfalerita	5 – 17000
Calcopirita	10 – 5000
<b>Óxidos</b>	
Hematita	Mayor a 160
Fe (III)	Mayor a 76000
Magnetita	27 – 41
Ilmenita	<1
<b>Silicatos</b>	
Cuarzo	0.4 – 1.3
Feldespatos	0.1 – 2.1
Biotita	1.4
Anfíbol	1.1 – 2.3

Olivino	0.08 – 0.17
Piroxeno	0.05 – 0.8
<b>Carbonatos</b>	
Calcita	1 – 8
Dolomita	<3
Siderita	<3
<b>Sulfatos</b>	
Yeso	1 – 6
Barita	1 – 12
Jarosita	34 – 1000
<b>Otros minerales</b>	
Apatito	1 – 1000

**Modificado de:** (Smedley & Kinniburgh, 2002)

#### 7.4. Arsénico en el agua

Sin embargo, en general, el estado de oxidación V domina en las aguas superficiales; Los compuestos de arsénico solubles en las aguas subterráneas se han encontrado habitualmente con distribución heterogénea, principalmente en forma de arsenito (As III) cuando no hay mucho oxígeno (Nickson et al., 2000)(Kocar et al., 2008).

En aguas naturales el arsénico está entre menos de 0,5 µg / L y más de 5000 µg / L, mientras que en agua dulce es menos de 10 µg / L, en aguas subterráneas superan los 50 µg / L, lo cual se debe a procesos geoquímicos naturales pero también debido a actividades antropogénicas, como la minería (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Las concentraciones en el agua potable superan las directrices de la Organización Mundial de la Salud (<10 µg / L) se han documentado en todo el mundo, incluidos países como India, Bangladesh, China, Vietnam, Taiwán, España, Portugal y Hungría. (Bhattacharya et al.,

2006)(Smedley & Kinniburgh, 2002), también en América Latina como Argentina, Brasil, Chile, Ecuador México, Nicaragua, Perú y Uruguay (Farías et al., 2008)

En los ríos, las concentraciones de arsénico se encuentran en el intervalo 0,1-0,8 µg/L, pudiendo alcanzar los 2 µg/L, en función de factores como la estructura de la superficie de recarga, tanto superficial como subterránea, litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales (Smedley & Kinniburgh, 2002).

## **7.5. Arsénico el suelo**

### **7.5.1. Suelo**

El suelo resulta de la degradación o meteorización de a roca madre, da soporte a muchas especies de plantas, animales y seres vivos, va a depender de la manera que sea su origen, función, tamaño etc., tiene la capacidad de absorber nutrientes y retenerlos hasta que exista una remoción de dicho suelo (Toledo, 2016).

El suelo es un sistema abierto, vivo y dinámico de mecanismos múltiples que contiene fases de sólidos, líquidos y gaseosos (Rodríguez & Vallejo, 2007).

Es un sumidero geoquímico para contaminantes, también actúa como un buffer natural que controla el transporte de elementos químicos y sustancias a la atmósfera, hidrósfera y biota por tanto tiene una función importante en los ciclos biogeoquímicos de los elementos y el agua. Sin embargo, el papel más importante del suelo es su productividad, en muchos países es el principal recurso natural del que dependen la agricultura, la ganadería y por tanto, la alimentación que es básica para la supervivencia de los humanos (Doran & Parkin, 1994).

### **7.5.2. Calidad del suelo**

Es "la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de su ecosistema para mantener la productividad biológica, calidad ambiental." (Gil-Sotres et al., 2005).

Para medir la calidad ambiental de los suelos, se han tratado de integrar números índices aunque estos son variados, básicamente la integración de todos estos parámetros indicará la calidad de un suelo (Gil-Sotres et al., 2005)

### **7.5.3. Estructura del suelo**

“Se define como la capacidad de la masa de suelo de desintegrarse por sí misma en separaciones de diferentes formas y tamaños, lo que puede evaluarse a través de la estabilidad de los agregados.”(Bernal & Hernández, 2017).

La estructura del suelo depende de variables como los microorganismos, la profundidad de las raíces, la biodiversidad del suelo y en qué condiciones se encuentran los suelos debido a sus ecosistemas y el uso que les da cada sector.

### **7.5.4. Textura del suelo**

Es el tamaño de los componentes inorgánicos en el suelo, arena, limo y arcilla. Esta propiedad afecta la fertilidad, drenaje, capacidad de retención de agua, aireación y contenido orgánico y entre otras propiedades. (FAO, 2021).

### **7.5.5. Composición física del suelo**

Tienen diferentes proporciones de suelo, aire y agua y su interrelación. Las propiedades físicas pueden ser: fundamentalmente aquellas que no se derivan de otras y dentro de este grupo están el color, textura, estructura, densidad, consistencia, temperatura, etc. (Intagri, 2020).

### **7.5.6. Composición química del suelo**

La composición química está dada principalmente al pH, la salinidad, la materia orgánica y la nutrición mineral, que está compuesta por nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y microelementos (sodio, boro, manganeso, zinc, cobre, sulfatos, cloruros y bicarbonatos. (Mart, 2016).

### **7.5.7. La contaminación del suelo**

Está en el origen de la degradación de la fertilidad del suelo, la alteración de la estructura del suelo, altera el equilibrio del ecosistema del suelo, conduce a la contaminación de cultivos y

aguas subterráneas que en última instancia constituye una amenaza para los organismos vivos (Rodríguez & Vallejo, 2007).

#### **7.5.8. En los suelos, el arsénico**

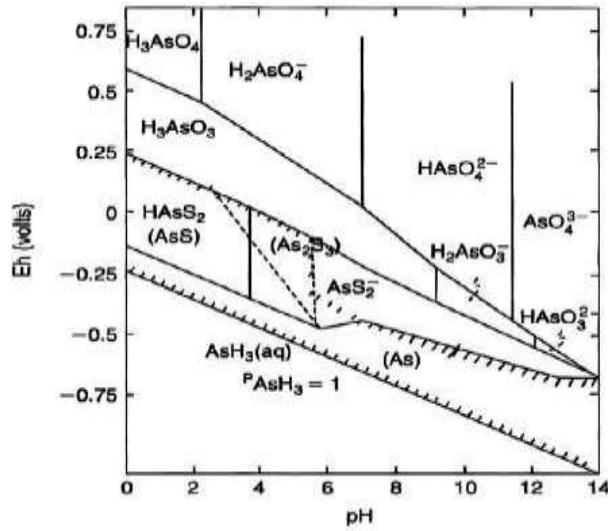
Se encuentra principalmente presente en forma de arsenito (As III) o arsenato (As V) en los rangos Eh y pH y actividad microbiana. En ambientes aeróbicos, los arseniatos toman la característica de ser especie estable y más cuantioso, se adsorben en arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso y materia orgánica. El hierro en el suelo, puede precipitar en arseniato de hierro y en condiciones reductoras, prevalecen los arsenitos (Mandal & Suzuki, 2002).

#### **7.5.9. Aspectos geoquímicos que controlan la presencia de arsénico**

El potencial Eh y pH imponen controles importantes sobre la especiación de arsénico en el medio ambiente natural (Ferguson & Gavis, 1976).

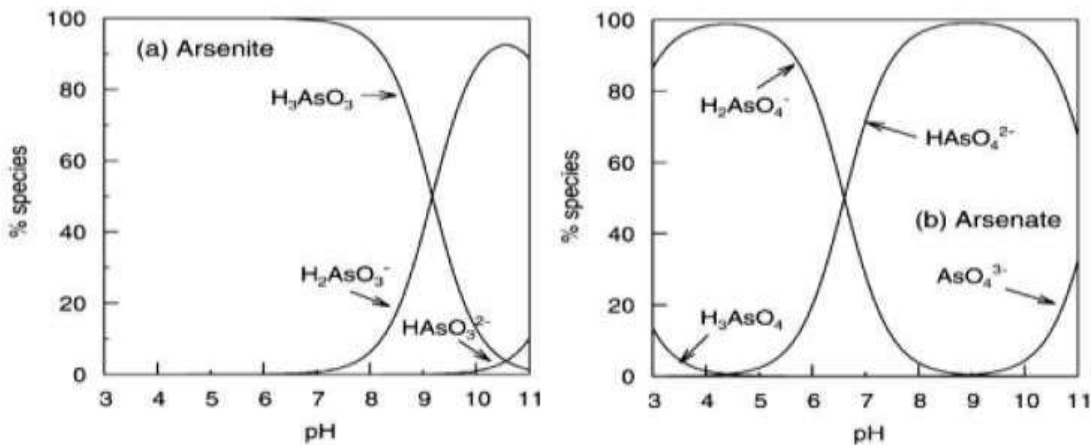
A continuación, se muestra el diagrama de Eh-pH de compuestos de As inorgánico en el ambiente natural. Bajo condiciones oxidantes, el arsénico inorgánico se presenta como  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  (As V) a  $\text{pH} < 2$ , y las especies  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  y  $(\text{HAsO}_4)^{-2}$  existen en el rango de pH de 2 a 11. A bajos valores de Eh,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$  es la especie de arsénico inorgánico predominante (As III) bajo condiciones reductoras (Ferguson & Gavis, 1976).

**Figura 1:** Eh-pH para As a 25 ° C y 1 atmósfera.



Tomado de: (Ferguson & Gavis, 1976)

**Figura 2:** Especies de As. (a) Arsenito y (b) Arseniato versus pH.



Tomado de: (Chakrabarti et al., 2019)

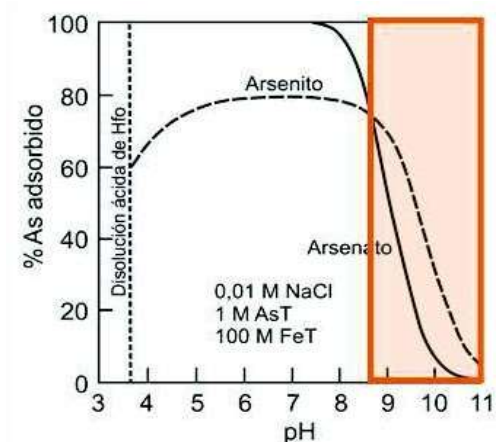
Las concentraciones de arsénico se deben a la relación soluto-fase sólida, el fenómeno de transporte y transferencia, la dilución del agua y las condiciones geoquímicas (J. Bundschuh et al., 2008).

### 7.5.10. Interacción agua-fase sólida: movilización y retención de arsénico.

La concentración de arsénico en aguas naturales y suelo está controlada por procesos de interacción sólido-solución. Hay dos categorías de procesos geoquímicos de interacción agua-fase sólida, que controlarán la movilización de arsénico en el agua: 1) reacciones de adsorción y desorción y 2) reacciones de precipitación y disolución en fase sólida. (Lillo, 2003).

La fuerza de la adsorción depende en parte de las diferencias de carga entre la especie acuosa y la fase sólida. La adsorción y desorción están descritas por isotermas (Lillo, 2003).

**Figura 3:** Curva de adsorción de As III y As V, versus el pH, se representa el rango de pH en el cual se produce la desorción de As.



Tomado de: (Raven et al., 1998)

#### a) Adsorción/Desorción:

En fase sólida, se determinan por las diferencias entre las especies disueltas y por las cargas de la fase sólida. (Rodríguez & Vallejo, 2007).

“Una isoterma de adsorción es aquella que concierne la concentración de As en solución con su concentración en la superficie de la fase sólida” (Rodríguez & Vallejo, 2007).



Las isothermas de adsorción de As (V) y As (III) son de naturaleza no lineal, la adsorción aumenta cuando sus concentraciones de arsénico son bajas (Smedley & Kinniburgh, 2002). La máxima adsorción del arseniato se presenta en  $\text{pH} < 7$  y la del arsenito a un  $\text{pH} < 8$ .

A continuación, las superficies más comunes donde el Arsénico se adsorbe:

**Tabla 7:** Superficie de Adsorción del As.

Arsénico	Superficies de adsorción
Arseniato o arsenito	Óxidos de Hierro Concentración de óxidos de aluminio o manganeso Materia Orgánica Arcilla Bicarbonatos

**Modificado de:** (Smedley & Kinniburgh, 2002)

La adsorción puede estar dependiendo de las concentraciones de minerales presentes. Las reacciones de adsorción o desorción entre el arseniato y los óxidos de Fe llevan a que los óxidos de hierro se encuentran como recubrimiento de otras fases sólidas. (Rodríguez & Vallejo, 2007).

Los cambios de pH son significativos en la adsorción o desorción de As. Las reacciones redox pueden controlar la adsorción o desorción de As, que tienen efectos sobre la especiación (Rodríguez & Vallejo, 2007).

### **b) Precipitación/Disolución**

Las reacciones de precipitación y disolución se manejan mediante cambios en la solución, pH, temperatura, condiciones redox y la concentración de las especies acuosas. La disolución de un mineral depende del tamaño de la partícula y su cristalinidad, sobre la velocidad de disolución o precipitación de un mineral es corta. (Lillo, 2003).

La reacción de disolución del mineral tiende a ser más rápida en condiciones exageradas de pH y potencial redox. La disolución de los óxidos de Fe se da en condiciones fuertemente ácidas y reductoras. En esta reducción, tiende a liberarse arsénico. La co-disolución conduce a la movilización de As en el agua. La co-disolución en muchos casos puede ser más efectiva para la movilización que la desorción (Rodríguez & Vallejo, 2007).

### **7.6. Toxicología y riesgos a la salud provocados por arsénico**

Se sabe que el arsénico es un elemento altamente tóxico y cancerígeno, se considera riesgo para la salud humana, por ello es el objetivo de muchas evaluaciones. (USEPA, 2000).

El efecto tóxico se llama arsenicosis, que depende de la cantidad de metaloide ingerido por cada persona, pero el arsénico también tiene efectos positivos cuando se usan ciertos tratamientos contra el cáncer, pero se usa en dosis bajas (García Salgado et al., 2006).

El arsénico ingresa a los humanos principalmente de diferentes maneras; primero, el consumo directo de agua y alimentos contaminados y la absorción a través de la piel, es decir, esta última, será baja. (Rodríguez & Vallejo, 2007).

El arsénico tiene toxicidad aguda y crónica en el cuerpo humano, dependiendo del sexo, la edad, la salud, el estado nutricional de la persona y especialmente la concentración y el tiempo de exposición (Zhao et al., 2010).

El envenenamiento agudo puede producir la muerte (ATSDR, 2007) y los síntomas no letales del envenenamiento agudo incluyen (USEPA, 2000):

- Efectos gastrointestinales; náusea, vómitos, dolor abdominal y diarrea severa.
- Hinchazón del tejido cerca de los ojos
- Disminución en la producción de glóbulos blancos y rojos
- Ritmos cardíacos inauditos
- Deterioro a los vasos sanguíneos
- Picor en las manos y pies (“dormidos o entumidos”)
- Calambres musculares, sequedad de boca y garganta.

El envenenamiento crónico de arsénico causa:

- El Cáncer de piel, hiperpigmentación y queratosis.
- Ennegrecimiento de la piel y aparición de callos o verrugas en las manos, plantas de los

pies y torso.

- Perjudica la médula ósea y altera la composición celular de la sangre, provocando anemia.

La USEPA (Agencia de Política Ambiental de los Estados Unidos) y otras organizaciones internacionales como la OMS, basándose en los resultados de los riesgos del arsénico para la salud humana, han establecido niveles estándar de arsénico en el agua potable fijados en 10  $\mu\text{g} / \text{L}$ .

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS recomiendan no exceder una ingesta diaria máxima tolerable de 150  $\mu\text{g} / \text{L}$  de arsénico inorgánico para un adulto que pesa 70 kg. (WHO, 2008).

### **7.6.1. Toxicidad**

La toxicidad y el peligro de los compuestos de arsénico han sido comprobados por la liberación de grandes cantidades de arsénico al medio ambiente, por los desechos generados por las industrias, muchas agencias reguladoras, personal médico y ambientalistas, han tomado conciencia de la importancia de controlar el uso de arsénico y monitorear el potencial. fuentes de contaminación para evitar problemas mayores (Henke, 2009).

A finales del siglo XIX, la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) por daños a las personas y al medio ambiente, las agencias reguladoras de algunos países consideraron el gran riesgo de este producto y han restringido el uso (Henke, 2009) (World Health Organization, 2011).

De todos los arsénicos, el arsénico ( $\text{AsH}_3$ ) es la forma más tóxica, seguido de los arsenitos ( $\text{As III}$ ), el arseniato ( $\text{As V}$ ) y los compuestos orgánicos que tienen arsénico en su estructura. La gravedad de la toxicidad depende de la rapidez con que el cuerpo humano pueda eliminar el compuesto. La toxicidad del arsénico trivalente es 10 veces mayor que la del pentavalente y su dosis letal para los seres humanos varía entre 1 y 4 mg de  $\text{As III} / \text{kg}$  de peso corporal. El arsénico elemental no se absorbe casi por completo y se elimina sin provocar cambios. Entre el 80 y el 90% del arsénico inorgánico es absorbido fácilmente por el intestino, luego pasa al torrente sanguíneo, se une a la hemoglobina después de 24 horas y llega directamente al hígado, los músculos, los riñones, el bazo, el páncreas y la piel. Permanece allí entre 2 y 40 días antes de ser eliminado del cuerpo a través de la orina. El arsénico orgánico se elimina

rápidamente casi en su totalidad por los riñones. Cuando la ingesta es mayor que la excreción, el arsénico se acumula en el cabello y las uñas. Una dosis demasiado alta puede comprometer el sistema nervioso central, provocando coma y la muerte posterior (WHO, 2008).

#### **7.6.2. Niveles de exposición y niveles máximos permisibles**

En esta norma, los valores de fondo se refieren a niveles ambientales representativos de los contaminantes en el suelo. Las variaciones geológicas naturales reflejan en áreas no desarrolladas o sin la influencia de actividades industriales o urbanas extensas. Los criterios de calidad del suelo son 12 kg / mg y para los límites permitidos que variarán según el tipo de suelo según su uso, agrícola 12 kg / mg, comercial 15 kg / mg, residencial 15 kg / mg e industrial 15 kg / mg (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015)

Según la Organización Mundial de la Salud, la ingesta máxima legal de arsénico de un adulto es de 16,7 a 129  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de masa corporal y de 1,26 a 15,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y para niños (Rice & Baird, 2012) (World Health Organization, 2011).

#### **7.7. Arsénico en Latinoamérica, Ecuador**

Muchos volcanes, aguas termales, fumarolas y pozos geotérmicos se encuentran en la región del Pacífico de América Latina, estos sistemas se caracterizan por altas concentraciones de As y otros elementos geotérmicos típicos como Li y B (Farías et al., 2008).

En países de América Latina, el suelo y el agua subterránea están altamente enriquecidos en As debido a su alta densidad en la abundante roca volcánica y ceniza de la región (C et al., 2003).

En la región andina, el As se libera principalmente a través de la meteorización de rocas volcánicas y depósitos de minerales de azufre y la lixiviación de sus productos de meteorización (Castro de Esparza, 2009).

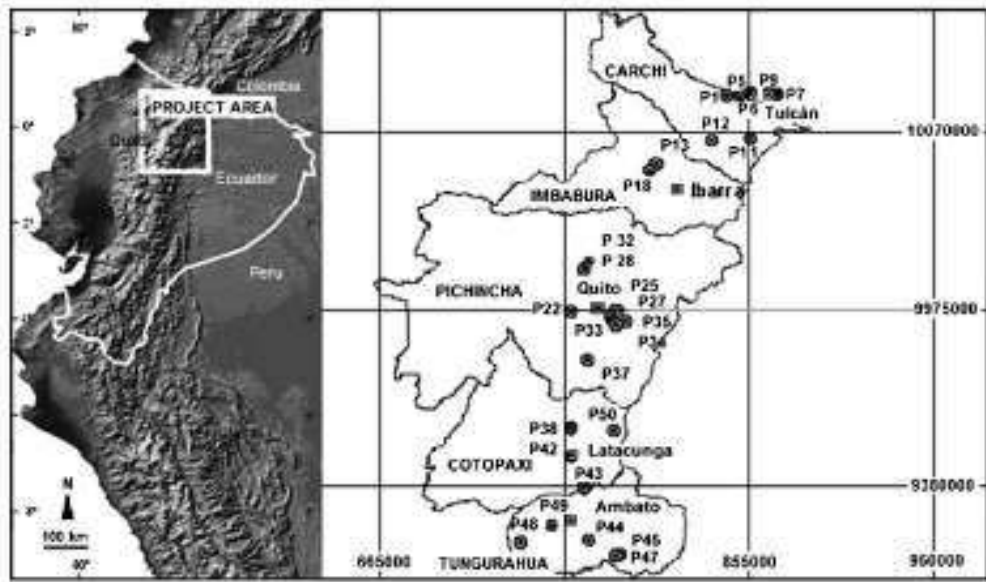
Ecuador hay centros volcánicos y sistemas geotérmicos porque están en el Anillo de Fuego. Aguas geotermales con altas concentraciones de As se encuentran en la parte centro-norte de la región andina del Ecuador (Fig.4) y en la cuenca de la laguna Papallacta en el cantón Quijos (Farías et al., 2008)

Estudios estiman que 500.000 personas de Ecuador en zonas rurales han estado expuestas a As con el consumo de agua y alimentos. Se han detectado altos niveles de As ( $> 10 \mu\text{g} / \text{L}$ ) en agua potable de Tumbaco, Guayllabamba, Cumbayá, Yaruqui, El Quinche, Pifo y Puenbo (Farías et al., 2008)

Las aguas geotermales de las provincias del norte como Carchi, Imbabura, y del centro Tungurahua y Pichincha muestran niveles de 113 a 844  $\mu\text{g} / \text{L}$ . El río El Ángel, en la provincia de Carchi recibe aguas termales y presenta un rango del orden de 64 a 113  $\mu\text{g} / \text{L}$ . En la parte central de la región andina, el As natural está presente en la laguna de Papallacta. Esta laguna es alimentada por el río Tambo y aguas residuales geotermales, presenta concentraciones que varían de 104 a 360  $\mu\text{g} / \text{L}$ (Farías et al., 2008).

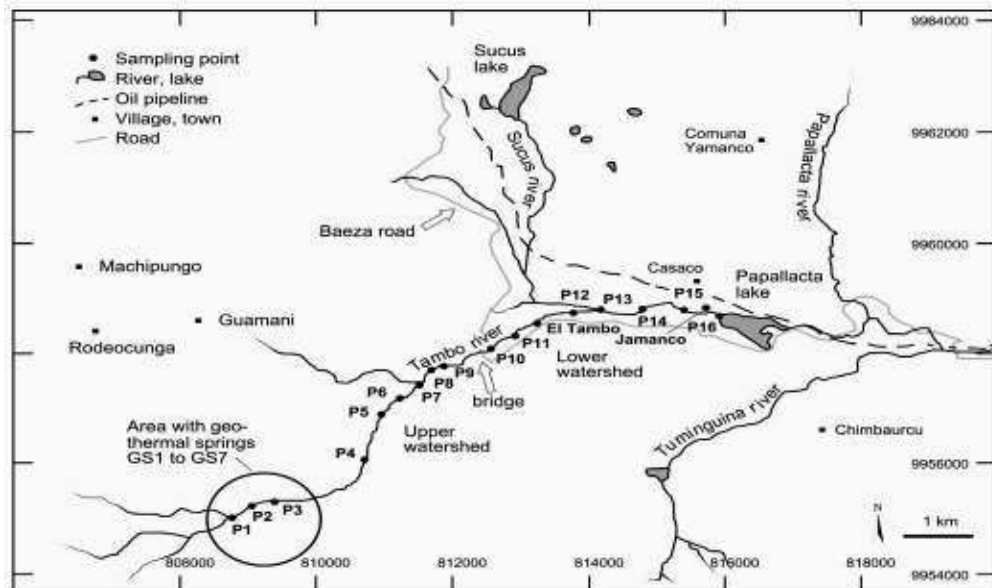
En el sector rural de Cotopaxi, personas perdieron los dientes a una edad temprana debido a la presencia de arsénico inorgánico significativo en el cuerpo y manchas rojas en la cara por el mismo factor mencionado anteriormente. (Farías et al., 2008)

**Figura 4:** Área de Adsorción del As.



Tomada de: (Cumbal et al., 2009)

**Figura 5:** Localización de concentraciones de As en afluentes de la Laguna de Papallacta.



Tomada de: (Cumbal et al., 2009)

## **7.8. Cinética de reacción**

### **7.8.1. Reacción química**

La reacción química ocurre cuando los reactivos de cierta estructura molecular se convierten en un producto. Al describir una reacción química, se escribe una ecuación química que por medio de los símbolos (Contreras, 2004).

Las reacciones químicas muestran que la ruptura y formación de enlaces covalentes y átomos siempre se conservan, por lo que es necesario escribir ecuaciones químicas balanceadas. Si ocurre más de una reacción y se forma más de un producto, una ecuación balanceada no necesariamente describe la reacción completa. Si la ecuación escrita tiene en cuenta todos los reactivos y productos, la ecuación es la estequiometría. En el laboratorio, los reactivos y productos se miden en moles (número de Avogadro). La reacción química está ajustada por el porcentaje de rendimiento del producto observado en ciertas ocasiones. Una reacción química se estudia desde el punto de vista la cinética y termodinámica (Contreras, 2004).

La reacción química se puede identificar de la forma abreviada como se presenta a continuación (Dominguez Reboiras, 2008):

Reactivos - > Productos

### **7.8.2. Cinética Química**

La cinética química es una actividad que se da de forma experimental, debido a la variedad de factores que condicionan la velocidad de una reacción, la temperatura, el pH, entre otros. Las reacciones tienen lugar cuando las moléculas de reactivo chocan entre sí e interactúan de manera apropiada para formar, o no, moléculas de producto. Pero, a nivel molecular, cada grupo de especies reactivas es un mundo particular con características propias debido a un comportamiento que solo se puede intentar interpretar después de haber recopilado una buena cantidad de datos experimentales. (Dominguez Reboiras, 2008).

### 7.8.3. La cinética de adsorción

Al estudiar la cinética de adsorción determina la velocidad con la que el As es adsorbido por un sólido con mayor precisión posible, en diferentes tiempos con una muestra proporcional de soluto y adsorbente (Sugey & Isabel, 2016). Por tanto, la ley de velocidad es preciso estudiar que describen el sistema de adsorción, las cuales están determinadas por experimentos y en cualquier caso no se pueden deducir.

La cinética de adsorción describe la tasa de captura de adsorbato, que controla su tiempo de residencia en la interfaz sólido-solución y, por lo tanto, su conocimiento permite predecir la tasa a la que se elimina el contaminante de las aguas residuales tratadas describe que se requiere el sistema de adsorción, que es determinado por experimento y en ningún caso se puede deducir (Mckay & Ho, 1999b) (Mckay & Ho, 1999a)(Mckay & Ho, 1999c)(Cheung et al., 2000)(Mahmut & Ayhan, 2005).

### 7.8.4. La velocidad de las reacciones químicas

Las transformaciones de los reactivos son las velocidades de las reacciones químicas, en los productos que se dan a diferentes velocidades, esto ocurre en función del tiempo, algunas reacciones son instantáneas, otras requieren minutos, horas, días y otras son tan lentas que prácticamente son considera que no se produce ninguna reacción (Contreras, 2004).

La velocidad defiende la concentración de un reactivo o aumenta la de un producto en el curso de una reacción (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993).

$$v = \frac{-d(\text{Reactivos})}{dt} = \frac{+d(\text{Productos})}{dt}$$

La velocidad de una reacción puede ser afectada por varios factores: la naturaleza de los reactantes, su concentración, temperatura, el medio en el cual se lleva a cabo la reacción, presencia de catalizadores o características estructurales:

- ✓ El ángulo, la longitud y la energía de los enlaces involucrados en el proceso de reacción.
- ✓ El número de enlaces que se rompen durante la reacción.



La velocidad de reacción se mide ya sea observando: la desaparición de un reactante con el tiempo ( $-d[R] / dt$ ), o también la aparición de un producto con el tiempo ( $d[P] / dt$ ) (Contreras, 2004).

La ecuación en una reacción, expresa la velocidad en función de las concentraciones de las sustancias las cuales toman parte en la reacción y que normalmente tiene la forma (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993):

$$v = k[\text{Reactivos}]^x$$

Donde k es la constante de velocidad.

### 7.8.5. Los modelos cinéticos de adsorción

Son fundamentales para determinar la dinámica del proceso de adsorción, existen varios modelos, para describir los procesos de adsorción, se utilizan modelos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y Elovich.

### 7.8.6. Orden de reacción

Con respecto al reactivo es el exponente de su término de concentración en la ley de velocidad. El orden de reacción general viene siendo la suma de los exponentes de todos los términos de concentración (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993).

**Tabla 8:** Leyes de velocidad según ordenes de reacciones químicas.

Reacción	Ley de velocidad	Órdenes de reacción
$2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	$v = \frac{-d[\text{N}_2\text{O}_5]}{dt} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$	Primer orden
$2\text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	$v = \frac{-d[\text{NO}_2]}{dt} = k[\text{NO}_2]^2$	Segundo orden
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$	$v = \frac{-d[\text{H}_2]}{dt} = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$	Segundo orden

		Primer orden para H <sub>2</sub>
		Primer orden para I <sub>2</sub>
CHCl <sub>3</sub> (g) + Cl <sub>2</sub> (g) → CCl <sub>4</sub> (g) + HCl(g)	$v = \frac{-d[\text{CHCl}_3]}{dt}$ $= k[\text{CHCl}_3][\text{Cl}_2]^{1/2}$	Orden 1 <sup>1/2</sup> Primer orden para CHCl <sub>3</sub> Orden 1/2 para Cl <sub>2</sub>
2O <sub>3</sub> (g) → 3O <sub>2</sub> (g)	$v = \frac{-d[\text{O}_3]}{dt}$ $= k[\text{O}_3][\text{O}_2]^{-1}$	Orden cero Primer orden para O <sub>3</sub> Orden -1 para O <sub>2</sub>
2NH <sub>3</sub> (g) → <sub>Δ, Pt</sub> N <sub>2</sub> (g) + 3H <sub>2</sub> (g)	$v = \frac{-d[\text{NH}_3]}{dt} = k$	Orden cero

**Modificado de:** (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993)

### 7.8.7. Ecuación de velocidad integrada

Para calcular la concentración de reactivo que quedará después de un tiempo determinado o el tiempo necesario para consumir una determinada cantidad de reactivo, es útil integrar la ecuación de flujo (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993).

**Tabla 9:** Integrado las leyes de velocidad.

Orden	Ley de velocidad	Forma integrada	Vida media
0	$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^0 = k$	$[A] = [A]_0 - kt$	
1	$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]$	$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -kt$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$
2	$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^2$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$	$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$
3	$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^3$	$\frac{1}{[A]^2} = \frac{1}{[A]_0^2} + 2kt$	
$n > 1$	$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]^n$	$\frac{1}{[A]^{n-1}} = \frac{1}{[A]_0^{n-1}} + (n-1)kt$	$[A] = \text{concentración}$ $[A]_0 = \text{concentración}$

**Modificado de:** (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993)

### 7.8.8. Mecanismos de reacción

La teoría de colisiones, es el choque de dos o más cuerpos, se procede de la teoría cinético molecular, indica que cuando haya una reacción química entre átomos, los iones o moléculas, es necesario que éstos adviertan primeramente colisiones. Esta teoría indica que la velocidad de la reacción dependerá de (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993):

- Frecuencia de los choques de la concentración, estado de los reactivos, temperatura velocidad, etc.
- Frecuencia de choques con orientación apropiada naturaleza de los reactivos, etc.
- Frecuencia de choques de energía necesaria para llegar al estado de transición.

### **7.8.9. Molecularidad y orden de reacción.**

La ley de velocidad se predice para una reacción elemental, está influenciada por el producto de la constante de velocidad y las concentraciones de los reactivos en esa etapa. En otras palabras, en una reacción elemental, el orden y la molécula coinciden (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993).

### **7.8.10. Ley de velocidad.**

Es el exponente de su término de concentración en la ley de velocidad, esto depende del tipo de reactivos, como el estado físico, el espesor de partícula, la temperatura y los catalizadores. (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993).

## **7.9. Muestreo**

### **7.9.1. Plan de muestreo**

Para realizar cualquier tipo de muestreo, se debe establecer previamente un plan de muestreo que contenga la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014)

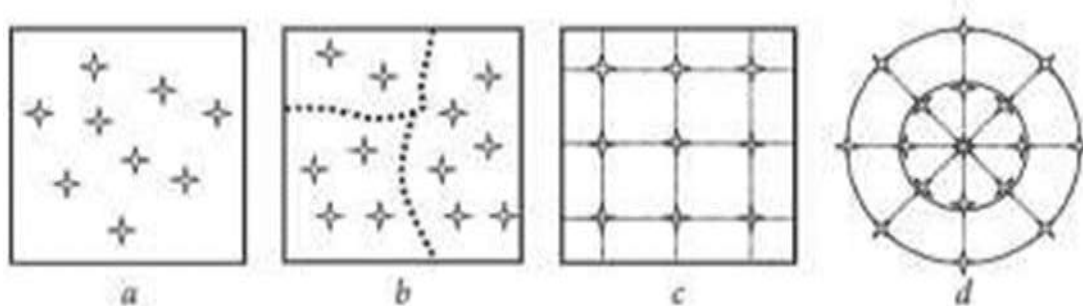
El plan de muestreo permite recolectar información que ayuda a la descripción del área de estudio, objetivos del plan y tipo de muestreo según los objetivos, y determinación de la densidad (Dirección General de Calidad Ambiental, 2014).

### **7.9.2. Tipos de muestreo**

Los patrones se pueden distribuir uniformemente (cuadrículas regulares, cuadrículas triangulares, cuadrículas circulares, en una línea, diagonales múltiples), distribuir aleatoriamente (aleatorio, aleatorio en una cuadrícula regular, desalineado aleatorio en una

cuadrícula regular) y muestras con distribución heterogénea (diagonal simple ) diagonales cruzadas giratorias)(MINAM-ECA, 2014).

**Figura 6:** Tipos de Muestreo a) Aleatorio simple, b) Aleatorio estratificado, c) Sistemático Rejilla Rectangular, d) Sistemático Rejilla Polar.



**Fuente:** (Mason, 1992)

## 8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

**¿La determinación de un modelo cinético de reacción va ser una alternativa para establecer la capacidad de adsorción de arsénico como contaminante en el suelo?**

En base a los datos obtenidos del muestreo, de laboratorio y de aplicación del modelo cinético de reacción, se presenta que existe en la M3-M6-M10-M12-M15-M17-M20-M22 mayor velocidad en la retención de arsénico en 8 horas, manteniéndose levemente constante en 12 horas, con concentraciones bajas de un estimado de 70% de arsénico en el suelo, siendo un modelo que se debería seguir aplicando y así determinar en donde se está manteniendo constante la movilidad del contaminante para que no haya desorción en la aguas subterráneas, mejorando el suelo superficial para una buena retención y así puedan estar dentro de los límites máximos permisibles de los niveles de arsénico en el suelo empleada en suelo agrícola que se encuentra en tabla 2 de los criterios de Remediación o Restauración (Valores Máximos Permitidos), Anexo 2 del Libro VI que se encuentra en el acuerdo ministerial 028, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

## **9. METODOLOGIA**

### **9.1. Tipos de investigación**

#### **9.1.1. Investigación descriptiva**

Esta investigación se utilizó para la obtención de la cantidad cuantitativa de la capacidad de adsorción para y así obtener la velocidad de reacción de las 22 muestras de la reserva ecológica los Ilinizas.

#### **9.1.2. Investigación bibliográfica**

La presente investigación permitió recopilar información importante de varios estudios que se realizaron anteriormente sobre el tema de investigación de arsénico en el suelo como: Scielo, Redalyc.org, Dialnet, Tesis, Libros, informes técnicos, PDYOT de la parroquia de Toacaso, y la normativa ambiental vigente del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

#### **9.1.3. Investigación de campo**

Esta investigación se realizó mediante la visita in situ para el muestreo en la reserva ecológica los Ilinizas en las coordenadas Norte x; 756102 y; 9925455 Sur x; 756150 y; 9925048 a 4.125 m.s.n.m. utilización de los materiales, equipos.

#### **9.1.4. Investigación analítica**

La investigación analítica permitió establecer resultados, obtenidos de un modelo cinético, y se realizó diagramas en el programa Excel con los datos de concentraciones.

### **9.2. Métodos**

Los métodos a utilizarse en la ejecución del proyecto son:

### **9.2.1. Método analítico – sintético.**

Mediante este método se analiza cada una de las etapas de la investigación, las cuales servirán para estudiar las concentraciones totales y determinar los resultados, acerca de la investigación.

### **9.2.2. Método inductivo.**

Este método permitió generar conocimiento de la capacidad cinética de adsorción del suelo proveniente de la reserva ecológica Los Ilinizas, generando datos para la determinación de la adsorción de arsénico y la comparación con los límites permisibles vigentes.

#### **a) Observación**

En este método se logró verificar los cambios de concentraciones finales dispuestos a diferentes tiempos de agitación y con ello verificar el tiempo de equilibrio óptimo y la velocidad del mismo.

#### **a) Comparativo.**

Par este estudio investigativo se procedió a tomar resultados de estudios ya realizados, los cuales permitirán un análisis de variaciones, semejanzas y diferencias entre dos o más casos, con el fin de establecer regularidades, o bien mediante interpretación, para el estudio de la investigación la bibliográfica toma un proceso importante para la obtención de los resultados. Además, se verifico con la Normativa Ambiental Establecida en el Acuerdo Ministerial 097 A, Anexo 2 del Libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: proceso de remediación o restauración y que cumplan con los niveles de calidad que se encuentran en el (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015).

### **9.3.Técnicas**

Para la ejecución de la investigación se utilizó las siguientes técnicas:

### 9.3.1. Observación directa.

La observación directa permitió realizar un planteamiento adecuado del problema de estudio, ya que dio paso a un acercamiento al área de estudio donde se llevó a cabo el trabajo de campo.

### 9.3.2. Análisis de Datos.

Mediante los análisis de datos, permitió obtener las concentraciones finales de adsorción, para así establecer la velocidad de la misma, esto dependiendo la variación de tiempo a la que se sometió a cada muestra, con la finalidad de obtener un tiempo de equilibrio, a la que estabilizó la reacción en función del tiempo y la concentración.

## 9.4. Instrumentos

**Tabla 10:** Instrumentos

<b>Instrumentos de muestreo</b>	<b>Instrumentos de laboratorio</b>
GPS	Agitador magnético
Libreta de campo	Centrífuga
Pala	Estufa
Fundas ziclop	Balanza
	Erlenmeyer DE 250ML
	Vaso precipitado 1000ml
	Tubos Falcon
	Espátula
	Equipo para medir As.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

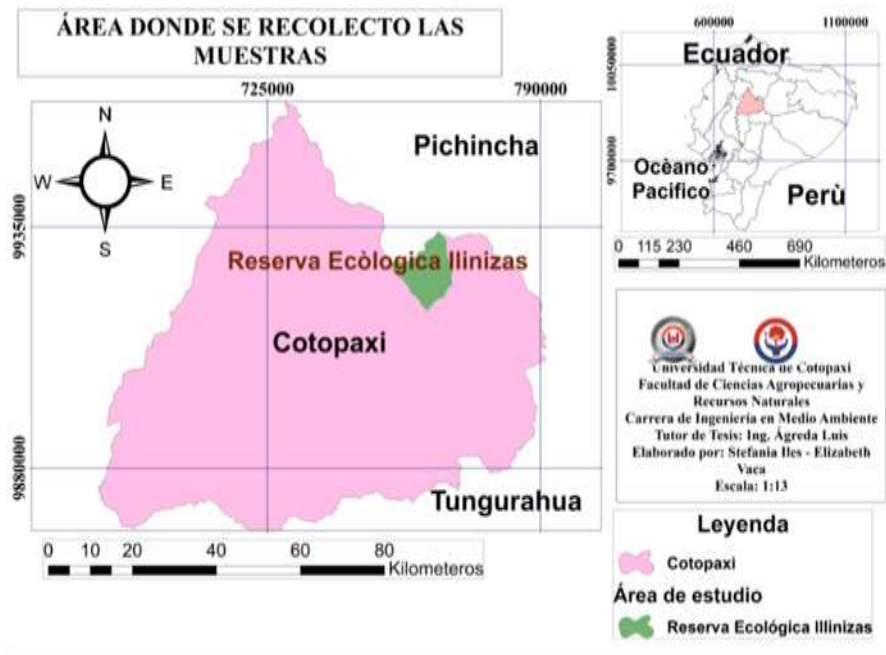


### **9.5. Área de estudio**

La determinación de los puntos de muestreo, se realizó en la reserva de los Ilinizas. La ubicación geográfica de los Ilinizas, se encuentran en Ecuador entre las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas, Cotopaxi y Pichincha entre los Puntos al Norte x; 755208 y; 9975855 Sur x; 762494 y; 9916281. Con una extensión de 500 hectáreas aproximadamente, con un rango altitudinal que va desde los 2800 msnm hasta los 4210 msnm. El área de estudio está ubicada en la parte predominante de provincia de Cotopaxi, en la Parroquia San Juan de Pastocalle en las coordenadas Norte x; 756102 y; 9925455 Sur x; 756150 y; 9925048(SNI, 2014).

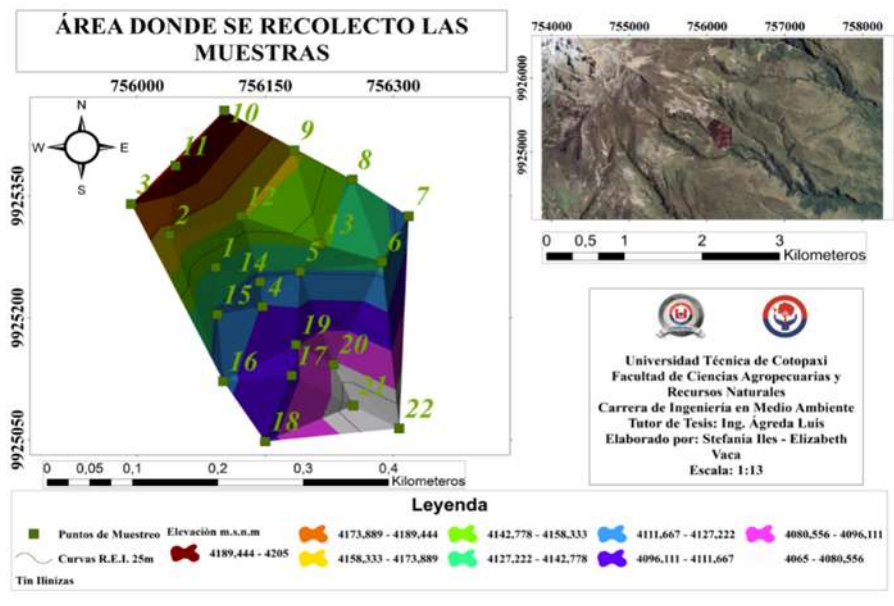
El área de estudio para el muestreo han sido tomadas en cuenta a los alrededores de las aguas Termales de Cunuyacu a 4.125 m.s.n.m de los Ilinizas sur por tener texturas limosas con presencia de arena muy fina; viscosidad y esponjosidad; y con gran capacidad de retención de agua (Morillo Ruano, 2017), en el área de estudio se encontraron grava que va desde 0 a 1% , arena de 20 a 66 % y finos de 32 a 80% por muestra analizada. Análisis de Laboratorio Quito (PUCE, 2021) Anexo.

El ph varía dentro del área de estudio desde 5,02 que es ácida hasta 8,12 que es moderadamente ácida. Análisis de Laboratorio Quito (INIAP, 2021) Anexo.



**Ilustración 1:** Mapa de Ubicación de Muestreo de la Investigación.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Ilustración 2:** Puntos de muestreo.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

### **9.6.Muestreo de suelo.**

La norma ecuatoriana TULSMA, el anexo 2 del libro VI del TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados el que hace referencia a los parámetros de calidad ambiental del suelo a ser considerados para diferentes usos de este recurso, a los valores iniciales de referencia respecto a la calidad ambiental del suelo, límites permisibles de contaminantes en función al uso del suelo, métodos y procedimientos para la determinación parámetros de calidad ambiental del suelo, y una guía para muestreo de suelo en el marco del decreto N.º 002-2013-MINAM, estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo (MINAM-ECA, 2014).

#### **9.6.1. Criterios de toma de muestras**

Se analizó 22 muestras, es decir se tomó en cuenta la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION PARA SUELOS CONTAMINADOS que indica que se tomará 15 a 20 submuestras georreferenciadas (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015), cada una con un peso de 3 libras tomadas a una profundidad entre 0 a 30 cm, también indica que en caso de existir diversidad de tipos de suelo, se tomará una muestra compuesta para cada uno de los tipos presentes en el área.

Se tomó una muestra testigo, por cada tipo de suelo y con las características del sitio donde se efectuó el muestreo (textura, color, pendiente, cultivo, manejo, etc.) (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015).

#### **9.6.2. Determinación lugar de muestreo**

Con una anticipada inspección del sitio por su amplitud y mayor accesibilidad para los determinados puntos de muestreo siguiendo la guía para muestreo de suelo y estándares de calidad ambiental (MINAM-ECA, 2014), que indica la división de la zona en estudio en áreas de potencial interés donde se debe identificar aquellas áreas que presenten una distribución similar en zonas con afectación localizada y zonas en las que se sospeche afectación no localizada, se debe centrar en las áreas donde haya mayor incertidumbre, lo cual cumple que la recolección de las muestras se efectuara alrededor de las aguas termales en la ladera, alta, media y baja por ser una zona montañosa de la reserva ecológica los Ilinizas,

### **9.6.3. Muestreo estadístico**

Se realizó el Muestreo de acuerdo a modelos matemáticos lo cual servirá para comprobar de manera homogénea la distribución del suelo. El muestreo se realizó en 500 hectáreas de manera aleatoria (MINAM-ECA, 2014)

**Rejilla:** el sitio presenta características geográficas diferenciadas, en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio sobre rejilla regular con una superficie de cada 100m<sup>2</sup>, formando una cuadrícula (MINAM-ECA, 2014).

### **9.6.4. Manejo de las muestras**

Se cumplió con los protocolos establecidos para la recolección y conservación de las muestras para su análisis de acuerdo con la norma de calidad ambiental (MINAM-ECA, 2014). El material utilizado para guardar las muestras fue las fundas ziploc las cuales son compatibles con el parámetro de metales pesados (ver anexo 2) de la guía (MINAM-ECA, 2014) siendo este resistente a la ruptura y evita reacciones químicas con la muestra, se mantuvo en lugares frescos, y el volumen ocupado por la muestra fue aproximadamente el mismo del tamaño de la funda, a fin de minimizar el espacio vacío indicado en la GUIA PARA EL MUESTREO DE SUELOS (MINAM-ECA, 2014).

### **9.6.5. Etiquetado**

El etiquetado se colocó en un lugar visible mucho menor al tamaño del recipiente y fue adherida adecuadamente para evitar su pérdida.

La etiqueta contuvo la siguiente información: número de muestras, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha, hora del muestreo, nombre de la persona que tomo la muestra (MINAM-ECA, 2014).

Cabe recalcar que Inmediatamente de la toma de muestra se procedió al etiquetado y registro de la muestra con la información levantada con los datos antes mencionados y por último se trasladó la muestra de diferentes puntos al laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## 9.7. Criterios de calidad del suelo

### 9.7.1. Arsénico en suelo agrícola

Los límites máximos permisibles de los niveles de arsénico en el suelo agrícola se encuentra en (ver anexo 3) tabla 2 de los criterios de Remediación o Restauración (Valores Máximos Permisibles), que se encuentra en el del acuerdo ministerial 028 Anexo 2 del Libro VI del sustitutivo del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: proceso de remediación o restauración y que cumplan con los niveles de calidad que se encuentran en el (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015).

**Tabla 11:** Criterios de calidad de suelo agrícola.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Arsénico	As	mg/kg	12

**Fuente:** (Acuerdo ministerial 028- TULSMA)

## 9.8. Diseño experimental

Para la parte no experimental de la investigación se procede a realizar la etapa de práctica de laboratorio, para lo cual primero se realiza la caracterización del adsorbente y consiguiente la contaminación con arsénico, en ella se determinaron las concentraciones óptimas del arsénico en solución para la respectiva contaminación en cada muestra y luego el análisis de la capacidad de adsorción, y se evaluó el tiempo de equilibrio óptimo en el que el suelo de los Ilinizas tiene un retención considerable del soluto, y con ellos determinar un modelo cinético.

## 9.9. Caracterización del adsorbente

El adsorbente empleado en el estudio corresponde al suelo extraído de la reserva ecológica los Ilinizas en los cuales se analizaron algunos se analizaron los parámetros físicos, granulométricos, ph, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Al del adsorbente, los cuales se realizaron en

laboratorios acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano y siguiendo las metodologías estipuladas y validadas para cada caso (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015), también se recurrió al Laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Los parámetros requeridos para el presente estudio se hicieron en base en base seca de muestras de suelo (ACUERDO MINISTERIAL 097-A, 2015)

Para la caracterización del absorbente se tomó en cuenta que los suelos de la reserva ecológica los Ilinizas se han desarrollado encima de materiales volcánicos recientes, cubiertos con proyecciones volcánicas, que han dado lugar a suelos negros, húmedos y orgánicos, cubiertos con una vegetación herbácea natural de pajonal (MAE, 1996). También se consideró que el arsénico se encuentra de forma dispersa en suelo y por medio de procesos de meteorización de rocas, actividades microbianas y en cenizas de erupciones volcánica (Mondal et al., 2006).

La Reserva presenta dos tipos de suelos: Franco arenosos húmedos, el de mayor representación en la RELI, localizado en las estribaciones de la Cordillera Occidental y determinados por su capacidad de retención de humedad y coloración muy negra (zonas frías) a negros (zonas templadas); y suelos arenosos, presentes dentro del valle interandino, y caracterizados por derivarse de materiales piroclásticos con baja retención de humedad (Manrique, 2006).

#### **9.10. Medición del tiempo de equilibrio**

Se utilizó una solución base 500 ug  $As_2O_3$  en 1 L  $H_2O$  calculado antes del análisis de laboratorio obteniendo así la ecuación de reacción ver anexo 4, el cual se utilizó para preparación de las soluciones, siendo esta concentración inicial para todas las muestras. Para los mismos se emplearon Erlenmeyer y un agitador.

Para la primera muestra y sucesivamente para las demás, se determinó el tiempo de agitación mínimo necesario para alcanzar el equilibrio. Para ello, se trabajó agregando 250 ml de la solución en cada Erlenmeyer que contiene 1 g del adsorbente en estudio. Los mismos fueron colocados en el agitador orbital y se agitaron a 250 rpm durante los siguientes tiempos: 0,5, 1, 2, 3, 6, 8, 12, 24 y 48 horas. Transcurrido cada uno de los tiempos establecidos, se

separaron las soluciones del adsorbente centrifugándolas a 2500 rpm durante 15 minutos, determinando arsénico total en el líquido sobrenadante método seguido del estudio de ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELO DE LA PROVINCIA DE MISIONES (Griffa et al., 2017).

### **9.10.1. Medición de arsénico**

Una vez realizado el proceso de adsorción, se obtuvo la cantidad de arsénico final de cada muestra, se detalla a continuación el procedimiento:

- Se realizó el manejo del kit de medición de arsénico de Marca LaMotte Código 4053-02 País de origen Estados Unidos
- Introducir la solución en un envase con los distintos reactivos que se encuentran en el mismo kit.
- Método: Comparación visual por tiras reactivas.

Este método de prueba visual (colorimetría) que se utilizó en (Niparaja and CONAGUA, 2005)(Nickson et al., 2000) requiere alrededor de 15 minutos y emplea una tira de prueba. Los compuestos inorgánicos  $As^{+3}$  y  $As^{+5}$  se convierten en gas Arsina, este gas reacciona con la tira de prueba del embace con la solución que debe de estar cerrado, produciendo un color que puede ir de amarillo a café. Los colores de la tira se comparan con una carta de colores para determinar la concentración de arsénico en ppb (CEICA, 2021).

- Rango: 4 a 400 ug/L (ppb)
- Escala: <4, 4, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 30, 50, 85, 100, 150, 175, 200, 300 y 400 ppb

### **9.11. Cinética de reacción de adsorción**

Para ello, es necesario la determinación del tiempo de equilibrio necesario para el sistema de estudio y la concentración total de arsénico que quedará transcurrido un tiempo o el tiempo necesario para que determinada cantidad de reactivo se consuma.

El modelo cinético examinó el mecanismo que controla el proceso de adsorción, usando experimentalmente el modelo cinético de pseudo primero orden (Orden de reacción total que es la suma de los órdenes de reacción (Peirano, 2019) )en su forma linealizada, utilizando la

ecuación simple de velocidad de adsorción, de pseudo primer orden de Lagergren, que se representa en el libro de Química General (Grupo B. Facultad De Farmacia, 1993):

Ley de velocidad

$$v = \frac{-d[A]}{dt} = k[A]_0 = k$$

Forma integrada:

$$[A] = [A]_0 - kt$$

## 10. ANALISIS RESULTADOS

### 10.1. Medición del tiempo de equilibrio

En esta parte de la investigación se utilizó agregando 250 ml de la solución en cada Erlenmeyer que contiene 1 g del adsorbente en estudio. Los mismos fueron colocados en el agitador orbital y se agitaron a 250 rpm durante los siguientes tiempos: 0,5, 1, 2, 3, 6, 8, 12, 24 y 48 horas, utilizando las tiras reactivas en cada tiempo de cada muestra, comparándola con el color que pinto al reaccionar, se realizó la comparación con la tabla base de escalas, y como era de esperarse se obtuvo como resultado diferentes concentraciones finales por cada muestra.

Se identificó que las 22 muestras tienen similitud de datos, es decir se obtuvieron los mismos resultados de concentraciones totales como es en las muestras M1-M4-M8-M13-M14-M16-M19-M21, M2-M5-M7-M9-M11-M18 y M3-M6-M10-M12-M15-M17-M20-M22 siendo así que se las agrupa dándoles nombre como modelo 1, modelo 2 y modelo 3 respectivamente.

Por otra parte se verifica una disminución rápida de la concentración de arsénico en todos los modelos, indicando que si existe una adsorción considerable. A continuación, se indican las concentraciones totales correspondientes a cada muestra en cada tiempo establecido (debido a que el rango de medición es hasta 400 ug/l se obtiene también valores mayores a



400 identificados como  $>400$ , estos datos no fueron analizados ya que no se considera un numero con el cual se puede calcular).

**Tabla 12:** Concentraciones totales.

TIEMP O h	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22
	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L	As2O 3 ug/L
0	500	500	500	500	500	500	500	507	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
0.30	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400	> 400
1	400	> 400	> 400	400	> 400	> 400	> 400	400	> 400	> 400	> 400	> 400	400	400	> 400	400	> 400	> 400	400	> 400	400	> 400
2	300	400	> 400	300	400	> 400	400	300	400	> 400	400	> 400	300	300	> 400	300	> 400	400	300	> 400	300	400
3	200	300	300	200	300	300	300	200	300	300	300	300	200	200	300	200	300	300	200	300	200	300
6	100	200	200	100	200	200	200	100	200	200	200	200	100	100	200	100	200	200	100	200	100	200
8	85	100	150	85	100	150	100	85	100	150	100	150	85	85	150	85	150	100	85	150	85	100
12	50	85	100	50	85	100	85	50	85	100	85	100	50	50	100	50	100	85	50	100	50	85
24	40	50	85	40	50	85	50	40	50	85	50	85	40	40	85	40	85	50	40	85	40	50
48	30	40	50	30	40	50	40	30	40	50	40	50	30	30	50	30	50	40	30	50	30	40

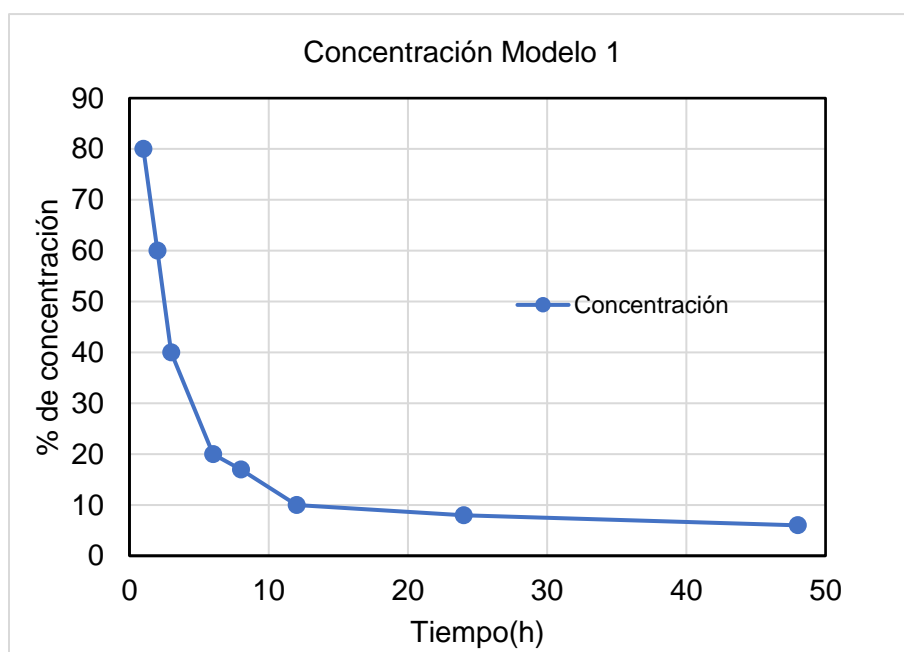
**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota:** La tabla representa la cantidad de concentración total de arsénico, clasificado por colores según su similitud, es por ello que se tiene 3 modelos.

**Tabla 13:** Concentraciones del Modelo 1 de estudio.

Concentración Modelo 1		
TIEMPO h	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ug/L	%
1	400	80
2	300	60
3	200	40
6	100	20
8	85	17
12	50	10
24	40	8
48	30	6

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Gráfica 1:** Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 1.

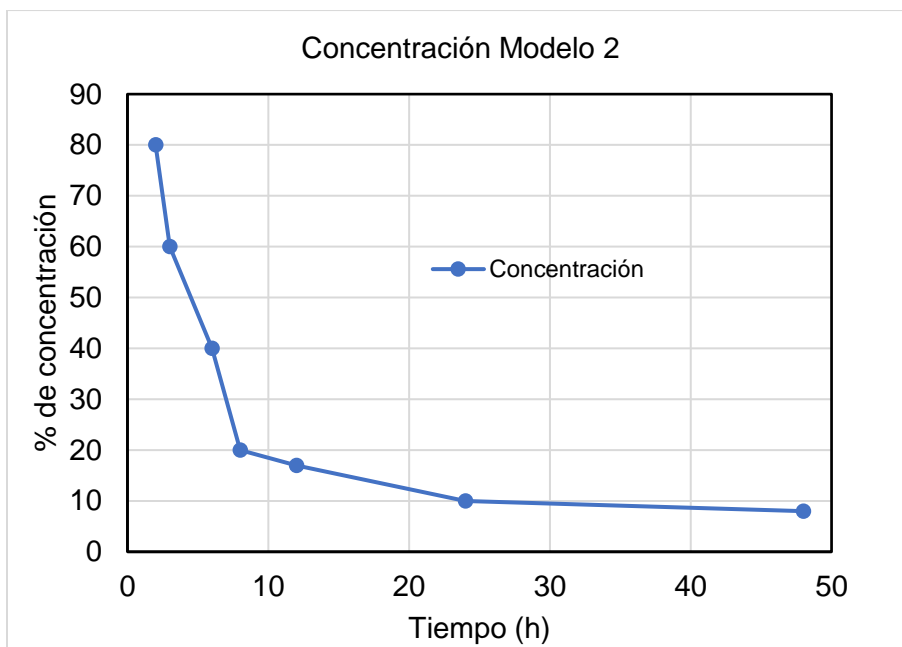
**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

En las primeras ocho horas de agitación se ha logrado un 17 % de remoción. A las 8 horas se obtuvo una eliminación del 83 % del arsénico inicial, manteniéndose levemente constante a partir de las 12 horas.

**Tabla 14:** Concentraciones del Modelo 2 de estudio.

<b>Concentración modelo 2</b>		
<b>TIEMPO h</b>	<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ug/L</b>	<b>%</b>
<b>2</b>	400	80
<b>3</b>	300	60
<b>6</b>	200	40
<b>8</b>	100	20
<b>12</b>	85	17
<b>24</b>	50	10
<b>48</b>	40	8

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Gráfica 2:** Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 2.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

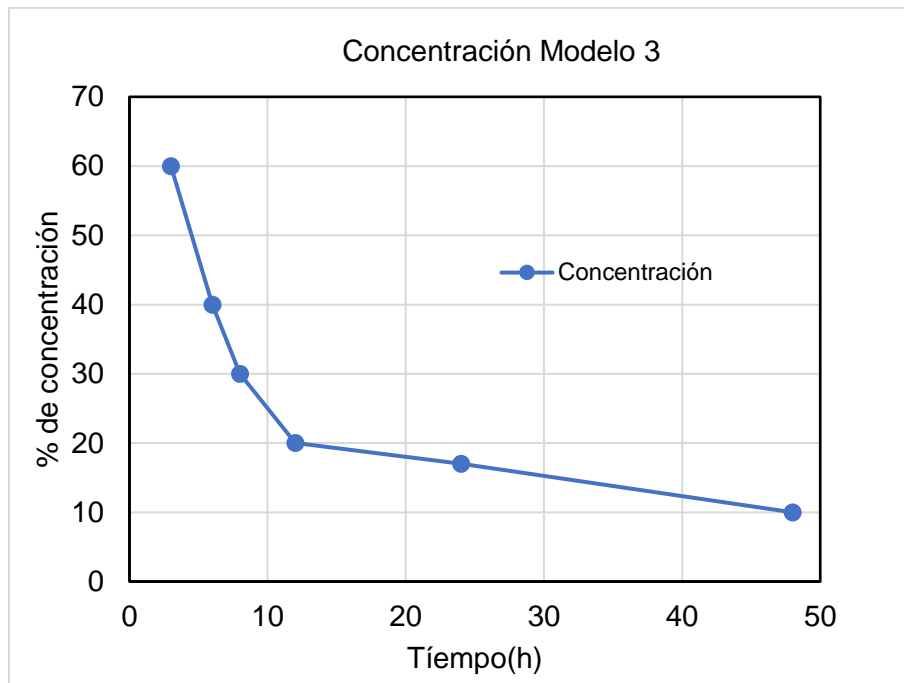
En las primeras ocho horas de agitación ha logrado un 20 % de remoción. A las 8 horas se obtuvo una eliminación del 80 % del arsénico inicial, manteniéndose levemente constante a partir de las 12 horas.

**Tabla 15:** Concentraciones del Modelo 3 de estudio.

<b>Concentración modelo 3</b>		
<b>TIEMPO h</b>	<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ug/L</b>	<b>%</b>
<b>3</b>	300	60
<b>6</b>	200	40
<b>8</b>	150	30
<b>12</b>	100	20

<b>24</b>	85	17
<b>48</b>	50	10

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Gráfica 3:** Variación de la concentración de arsénico total en solución en función del tiempo del modelo 3.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

En las primeras ocho horas de agitación se ha logrado un 30 % de remoción. A las 8 horas se obtuvo una eliminación del 70 % del arsénico inicial, manteniéndose levemente constante a partir de las 12 horas.

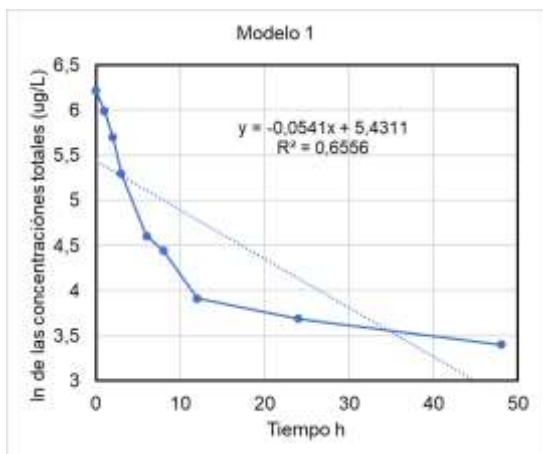
Se determinó que el modelo 1,2 y 3 tienen un punto de inflexión en 8 horas (en este punto, en las tres graficas se denoto que ocurre una remoción lenta). Para las experiencias siguientes se emplea un tiempo de agitación de 8 horas, ya que en este punto tiene lugar una rápida adsorción en la que el suelo retiene una mayor cantidad de soluto.

## 10.2. Cinética de adsorción

Se analizó a una concentración final durante el tiempo más idóneo para estudio es la estimación de 8 horas que corresponde al tiempo en se acepta un estado de equilibrio que será utilizado en el presente estudio.

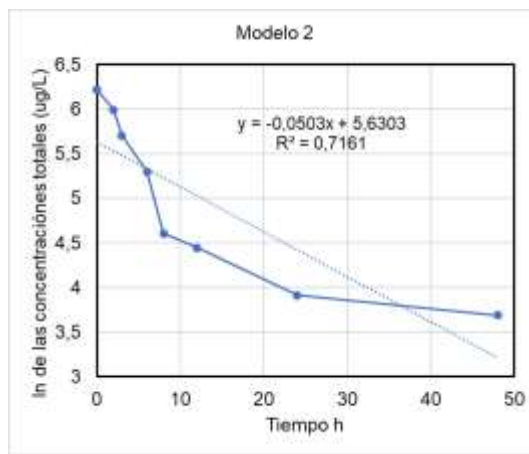
Por otra parte, se procede a calcular la constante necesaria para calcular la velocidad de reacción, para ello procedemos a calcular el logaritmo natural para verificar si se acopla a la ecuación de orden 1 el cual se obtiene experimentalmente, siendo así, se ha de cumplir la relación:  $k = - (\ln [A]_2 - \ln[A]_1 / t_2 - t_1)$  correspondiente para la cinética de primer orden donde pendiente = -k(Peirano, 2019).

**Tabla 16:** Obtención de la constante.



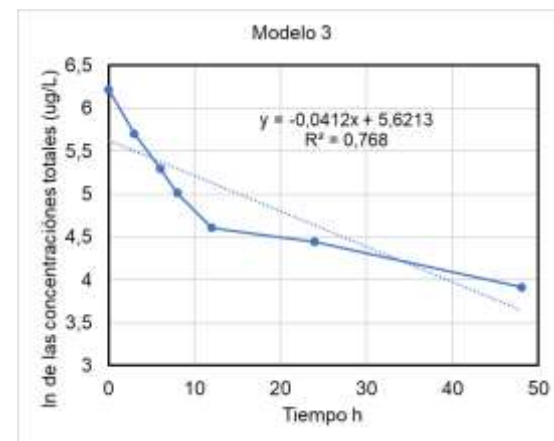
**Gráfica 4:** Modelo 1 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Gráfica 5:** Modelo 2 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



**Gráfica 6:** Modelo 3 que se acopla a un a la ecuación de orden 1.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota:** las 3 gráfica presentaron una mejor adaptación a la ecuación de primer orden representado en la ecuación, se ha de cumplir la relación:  $k = -(\ln [A]_2 - \ln[A]_1 / t_2 - t_1)$  Para comprobarlo se calcula el logaritmo natural de la concentración que corresponde a un constante para el modelo 1, 2 y 3 dando 0,0541, 0,0503 y 0,0412 (1/h) respectivamente, El coeficiente de determinación o R cuadrado en las tres gráficas, refleja la bondad del ajuste a un modelo 3, siendo este modelo ajustable para cualquier concentración en cualquier intervalo de tiempo.



**Tabla 17:** Resultados de velocidad de los 3 modelos.

MODE LO	TIEM PO h	PARAMETROS							
		As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ug/L	ln	%	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol/L	K(1/h)	V(ug/ Lh)	K(1/h)	V(mg/L h)
						GRAFI CA	K*(A)	ln(Af/Ai )/(t)	K*(A)
<b>Modelo 1</b>	8	85	4,44265 126	1 7	4,2971E- 07	0,0541	4,5985	0,089359 04	7,59551 831
<b>Modelo 2</b>	8	100	4,60517 019	2 0	5,0554E- 07	0,0503	5,03	0,092627 93	9,26279 283
<b>Modelo 3</b>	8	150	5,01063 529	3 0	7,583E- 07	0,0412	6,18	0,100783 41	15,1175 119

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

En un tiempo de 8 h en el modelo 3 se alcanza un equilibrio de adsorción de arsénico y se denota que en este punto la velocidad es relativamente mayor a los otros dos modelos por tanto la velocidad de reacción del estudio es 6,18 ug As/Lh.

### 10.3. Caracterización del adsorbente

El análisis de las propiedades físicas del suelo señala el valor con mayor significancia para él de humedad se obtiene el 97%, para él del límite líquido se obtiene el 88,5 % y para el índice de plasticidad se obtiene 46 %, estos resultados están dentro de los límites de Atterberg como lo cita la normativa. El L.P no se analizó ya que cuenta con un valor preestablecido para todos los casos del muestreo, después de la depuración, estos son los resultados de un suelo compuesto de las 22 muestras. Las principales características granulométricas del suelo, se lo ha clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS), podríamos clasificar al suelo como arcillo limoso y arcillas de baja plasticidad (ML-CL). En la Tabla del modelo 1, 2 y 3 se presentan los resultados de la caracterización química del adsorbente.

**Tabla 18:** Análisis granulométrico.

<b>Punto</b>	<b>Grava %</b>	<b>Arena %</b>	<b>Finos %</b>
<b>Modelo 1</b>	0	30	77
<b>Modelo 2</b>	1	64	34
<b>Modelo 3</b>	1	66	32

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Laboratorio PUCE Quito.

**Tabla 19:** Resultados de pH.

<b>Punto</b>	<b>pH</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Modelo 1</b>	6,14	Moderadamente ácido
<b>Modelo 2</b>	5,10	Moderadamente ácido
<b>Modelo 3</b>	5,56	Moderadamente ácido

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Análisis de Laboratorio INIAP Quito.

**Tabla 20:** Resultados para la identificación de sólidos volátiles.

<b>Muestra</b>	<b>(M.0) g</b>	<b>(M.1) g</b>	<b>(M.2) g</b>	<b>%M.O.</b>
<b>Modelo 1</b>	61,52	81,52	77,75	18,85
<b>Modelo 2</b>	63,88	83,88	81,60	11,40
<b>Modelo 3</b>	65,65	85,65	82,13	17,60

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Laboratorio Medio Ambiente Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Tabla 21:** Resultado del Análisis de (Fe) (Mn) (Mg) (Cu) (Ca).

<b>Puntos</b>	<b>Fe (ppm)</b>	<b>Mn (ppm)</b>	<b>Mg (meq/100g)</b>	<b>Ca (meq/100g)</b>	<b>Cu (meq/100g)</b>
<b>Modelo1</b>	1500 Alto	6 Medio	1,00 Alto	4,89 Alto	6,54 Alto
<b>Modelo2</b>	2000 Alto	1,00 Bajo	0 ,10 Bajo	0,02 Bajo	0,02 Bajo
<b>Modelo3</b>	1450 Alto	6,70 Medio	0,90 Alto	6, 12 Aalto	5,90 Alto

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Análisis de Laboratorio INIAP Quito.

**Normativa para el aseguramiento de la calidad** (Kloster et al., 2007).

**Tabla 22:** Concentración de Aluminio.

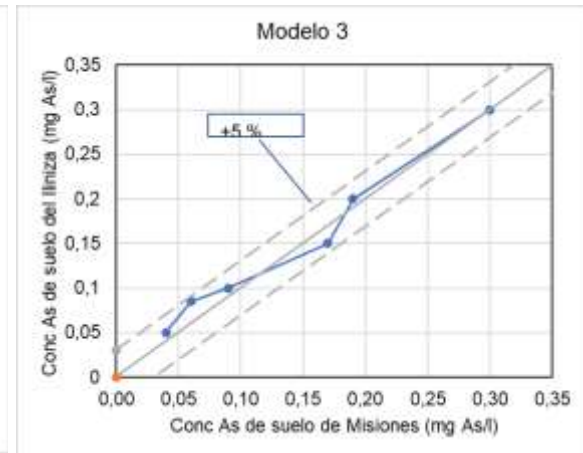
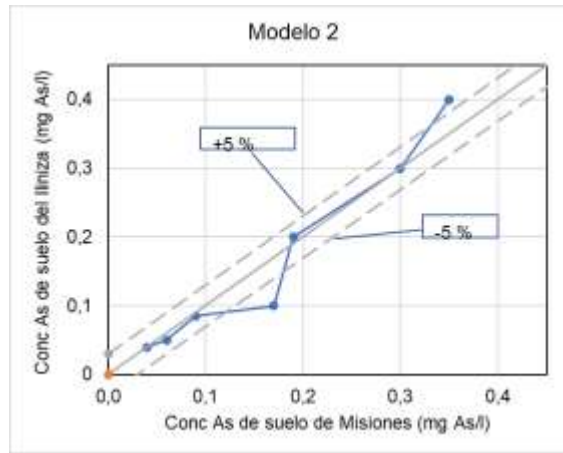
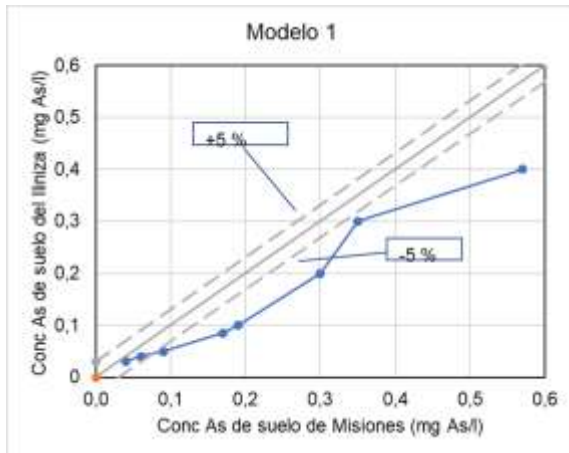
<b>Puntos</b>	<b>Al (mg/kg)</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Modelo 1</b>	7,14	Alto
<b>Modelo 2</b>	12,05	Alto
<b>Modelo 3</b>	7,50	Alto

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Centro de Soluciones Analíticas Integrales Centrocesal.

#### 10.4. Margen de error

**Tabla 23:** Margen de error de los tres modelos.



**Gráfica 7:** Margen de error del modelo 1.

**Gráfica 8:** Margen de error del modelo 2.

**Gráfica 9:** Margen de error del modelo 3.

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota:** Se graficó los valores de concentraciones de suelo de los Ilinizas versus el suelo de Misiones para encontrar el margen de error, y dio como resultado que en el modelo 1 y el modelo 2 sobrepasan el margen de error del 5%, siendo solo el modelo 3 el que se encontró dentro del margen de error del 5%. Entonces de tomar el modelo 3 como el modelo más aceptable y el que más se asemeja al estudio guía del suelo de la Provincia de Misiones.

## 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Al arsénico se lo encuentra de forma dispersa en suelo y por medio de procesos de meteorización de rocas, actividades microbianas y en cenizas de erupciones volcánica según el ENFOQUES DE LABORATORIO PARA LA REMEDIACIÓN DEL ARSÉNICO (Mondal et al., 2006), mientras en la investigación se encontró que la reserva ecológica los Ilinizas mantiene similares características, por lo cual se entiende que existe presencia de contaminación natural de arsénico por ser un complejo volcánico.
- Se caracterizó el adsorbente, teniendo en cuenta el estudio del MINISTERIO DEL AMBIENTE EN (MAE, 1996) donde indica que los suelos de la reserva ecológica los Ilinizas se han desarrollado encima de materiales volcánicos recientes dando lugar a suelos negros, húmedos y orgánicos, cubiertos con una vegetación herbácea natural de pajonal.
- En la reserva se encontró suelos arcillo limosos y arcilla de baja plasticidad a diferencia del estudio SOBRE EL SUELO DE LOS ILINIZAS (Manrique, 2006) donde indica que el suelo pertenece a Franco arenosos húmedos característico Cordillera Occidental y suelos arenosos, que se encuentran dentro del valle interandino.
- Se utilizó una concentración inicial base de As que está dentro de los límites permisibles que lo encontramos Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente 2015
- Para el tiempo de equilibrio se tomó 8 horas a diferencia de la guía de ESTUDIO DE LA ADSORCIÓN DE ARSÉNICO EN SUELO DE LA PROVINCIA DE MISIONES (Griffa et al., 2017) donde toma el tiempo de 24 horas.
- Se obtuvo la constante de velocidad mediante la gráfica del logaritmo de las concentraciones versus el tiempo, mediante la implementación de la ecuación, lo cual indica que la pendiente dada es correspondiente a la constante de velocidad como se verifica en el LIBRO DE CINÉTICA QUÍMICA (Peirano, 2019).
- Para la ley de velocidad se ha utilizado la ecuación simple de velocidad de adsorción, de pseudo primer orden de Lagergren obtenida del LIBRO DE DEPARTAMENTO

## **12. IMPACTOS**

### **a) Ambientales**

El modelo cinético de adsorción de arsénico se ha orientado en brindar información sobre la contaminación de arsénico que existe en el suelo, ajustando al modelo de primer orden que comparando con otros estudios cinéticos no aplican en el suelo, siendo pioneros en aportar con datos para futuros estudios de arsénico en el suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas y para su determinación se han respetado los estándares de calidad ambiental, que servirán para combatir la contaminación del suelo y por ende, en las fuentes hídricas.

La determinación del modelo cinético es esencial, ya que, si no existen datos experimentales, donde se conocerá el tiempo de equilibrio, la constante de velocidad de la concentración y la velocidad de reacción de arsénico, por muestra tomada de suelo.

### **b) Socioeconómico**

Con el estudio del modelo cinético las personas podrán mejorar el sistema de cultivos y el manejo del recurso hídrico, garantizando la salud y el bienestar de las personas con posibles remediaciones, problema ocasionado por la retención del arsénico en el suelo, siendo uno de los principales contaminantes que bibliográficamente y prácticamente se ha podido identificar en la Reserva Ecológica los Ilinizas.

El modelo cinético de reacción de adsorción de arsénico que se determino puede ser un ejemplo para futuras investigaciones para mejorar la calidad de vida de las personas.

### 13. PRESUPUESTO

**Tabla 24:** Presupuesto de la investigación.

<b>RECURSOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>	
<b>HUMANO</b>	Investigador	2	\$ 100,00	\$ 200,00	
	Tutor	1	\$ 100,00	\$ 100,00	
<b>OFICINA</b>	Resmas	2	\$ 5,00	\$ 10,00	
	Libretas de campo	2	\$ 1,00	\$ 2,00	
	Esferos	2	\$ 0,50	\$ 1,00	
<b>TECNOLÓGICOS</b>	Computador	2 horas diarias (por 100 días)	\$ 0,80	\$ 160,00	
	Impresora	200 hojas	\$ 0,10	\$ 20,00	
<b>MUESTREO</b>	Trasporte	2	\$ 20,00	\$ 40,00	
	GPS	1	\$ 7,00	\$ 7,00	
	Pala	1	\$ 10,00	\$ 10,00	
	Fundas Ziploc	22	\$ 0,25	\$ 5,50	
<b>LABORATORIO</b>	<b>Análisis</b>	pH	22	\$ 8,86	\$ 194,95
		Manganeso	22	\$ 8,86	\$ 194,95
		Hierro	22	\$ 8,86	\$ 194,95
		Aluminio	22	\$ 15,51	\$ 341,22

	Sólidos Volátiles	22	\$	3,38	\$	74,36
	Límites de Atteberg	22	\$	12,60	\$	277,20
<b>Instrumentos de Laboratorio</b>	Tubos Falcón	42	\$	0,75	\$	31,50
	Erlenmeyer	10	\$	4,50	\$	45,00
	Vaso de Precipitación	1	\$	10,00	\$	10,00
	Espátula	1	\$	2,00	\$	2,00
<b>Reactivos</b>	As-incluido análisis	1	\$	155,30	\$	155,30
	Agua Destilada	6	\$	2,50	\$	1,00
<b>Equipos</b>	Centrifuga	1	\$	-	\$	-
	Estufa	1	\$	-	\$	-
	Balanza	1	\$	-	\$	-
	Agitador	1	\$	-	\$	-
	Equipo para medir As.	1	\$	-	\$	-
SUBTOTAL					\$	2.091,93
10 % DE IMPREVISTOS					\$	209,19
TOTAL					\$	<b>2.301,12</b>

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)



## 14. CONCLUSIONES

Se encontró que modelo 3 en las primeras ocho horas de agitación logro una eliminación del 70 %, el absorbente utilizado posee una alta capacidad de adsorción de arsénico, por lo que podría considerar como un potencial absorbente eficiente y económico para la eliminación de arsénico y un modelo cinético base para cualquier investigación.

Se ha comprobado que la adsorción de arsénico es rápida, a este tiempo. Los valores de las cinéticas de adsorción de arsénico, verificado con la ley de velocidad dio como resultado 6,18 (ug/Lh).

Haciendo un promedio de adsorción de los 3 modelos, se obtiene una eliminación del 78% del metaloide en solución.

Adsorción de arsénico en suelo de los Ilinizas (suelo volcánico) se da en un Ph promedio de 5,6 considerando moderadamente acido, 15,95 % de materia orgánica y una concentración favorable de aluminio a 8,89 miligramo/kg que es alto a una altura de 4065 msnm a 4190 msnm.

## 15. RECOMENDACIONES

Es importante muestrear suelos con diferentes características, ya que se encuentra arsénico natural por ser suelo volcánico, se recomienda incluir el valor de arsénico natural a la concentración inicial para la contaminación.

Para contaminar un suelo con arsénico con fines investigativos, es importante seguir las instrucciones y guías en fichas de seguridad química, para no contraer riesgos a la salud, ambiente, y manteniendo el protocolo estipulado en el laboratorio para desechar lo que se ha utilizado, puesto que el arsénico es tóxico.

Al aplicar el modelo cinético de reacción, se considera primero obtener la ecuación de reacción y el orden de reacción, para así obtener el dato de la velocidad de reacción en equilibrio.

Para poder analizar la concentración de arsénico en el suelo, se propone realizar con espectrofotometría puesto que el kit de arsénico solo permitió obtener datos comparativos con las tiras colorimétricas de medición hasta 400ug/L, ya que el estudio se obtuvo valores que sobrepasan la concentración de arsénico.

Debido a la pandemia se dificultó el estudio de campo y análisis de laboratorio, ya que existieron restricciones tanto para movilidad como para el trabajo analítico.

## 16. REFERENCIAS

- ACUERDO MINISTERIAL 097-A. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.*
- Adriano, D. C. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals.* (Springer-Verlag (ed.); 2nd editio).
- Airam, E., Montoya, R., Hernández, L. E. M., Luévanos, M. P., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto Del Arsénico En El Ambiente Y Su Transformación Por Microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103–118.
- ATSDR. (2007). *Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades.*  
<https://www.atsdr.cdc.gov/>
- Bernal, A., & Hernández, A. (2017). Influencia De Diferentes Sistemas De Uso Del Suelo Sobre Su Estructura. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 50–57.  
<https://doi.org/10.1234/ct.v38i4.1402>
- Bhattacharya, P., Claesson, M., Bundschuh, J., Sracek, O., Fagerberg, J., Jacks, G., Martin, R., Storniolo, A., & Thir, J. (2006). *Distribution and mobility of arsenic in the Rio Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina.* (Sci. Tot. Environ. 358 (ed.)).
- Bhumbla, D., & Keefer, R. (1994). *Arsenic mobilization and bioavailability in soils.*
- Bundschuh, J., Carrera, P., & Littler, M. (2008). *Distribución del Arsénico en las regiones* (I. e I. CYTED (ed.)).
- Bundschuh, Jochen, Carrera, A. P., & Litter, M. (2006). Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- C, J., Wang, J., & Shraim, A. (2003). A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere*, 52(9), 1353–1359. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00470-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00470-3)
- Castro de Esparza, M. L. (2009). *The presence of arsenic in drinking water in Latin America*

*and its effect on public health.*

- CEICA. (2021). *KIT VISUAL PARA DETERMINAR ARSENICO EN AGUA*. <https://www.e-ceica.mx/kit-visual-para-determinar-arsenico-en-agua/>
- Chakrabarti, D., Singh, S. K., Rashid, M. H., & Rahman, M. M. (2019). Arsenic: Occurrence in groundwater. En *Encyclopedia of Environmental Health* (2a ed., Número June). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10634-7>
- Cheung, C. W., Porter, J. F., & Mckay, G. (2000). *Elovich equation and modified second-order equation for sorption of cadmium ions onto bone char*. (Journal of).
- Contreras, S. (2004). *REACCIONES QUÍMICAS VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química*. 91. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16710/reacciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cullen, W., & Reimer, K. (1989). *Arsenic speciation in the environment*. (89 Chem. Rev. (ed.)).
- Cumbal, L., Bundschuh, J., Aguirre, V., Murgueitio, E., Tipan, I., & Chavez, C. (2009). *El origen del arsénico en aguas y sedimentos del lago Papallacta en Ecuador* (7a, Edición eds.).
- Dirección General de Calidad Ambiental. (2014). Guía para muestreo de suelos. *Ministerio del Ambiente*, 38. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
- Dominguez Reboiras, M. A. (2008). *Química. La ciencia básica: la ciencia básica* (1ra Edició). COPYRIGHT.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). *Defining and assessing soil quality* (M. S. S. S. of America (ed.)).
- FAO. (2006). Amenaza de arsénico en Bangladesh. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Departamento de Agricultura y protección del consumidor*. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0605sp1.htm>
- FAO. (2021). *Portal de Suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil->

survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/

- Farías, S., Bianco de Salas, G., Servant, R., Mitre, B., Escalante, J., & Ponce, R. (2008). *Survey of arsenic in drinking water and assessment of the intake of arsenic from water in Argentine Pune*. (V. 1. 2008 editors. Arsenic in the environment (ed.)).
- Ferguson, J., & Gavis, J. (1976). *Arsenate adsorption on amorphous aluminum hydroxide*. (54 J. Colloid Interface Sci. (ed.)).
- García Salgado, S., Quijano, M., & Bonilla, M. (2006). *Optimisation of simple treatment for arsenic speciation in alga samples by focussed sonication and ultrafiltration*.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., & Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(5), 877–887. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.003>
- Griffa, C., Boglione, R., Panigatti, M. C., Keller, S., & Allegrini, J. (2017). Estudio de la adsorción de arsénico en suelos de la provincia de misiones. *Proimca – Prodeca*, 12.
- Grupo B. Facultad De Farmacia. (1993). *Química General*.
- Henke, K. (2009). *Arsenic Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment* (U. S. of A. Wiley, Kentucky (ed.); 1er edición).
- INIAP, (2021).
- Intagri. (2020). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserv.* <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Jimenez, P. (2018). Diagnóstico De La Presencia Y Contaminación Por Arsénico En El Suelo Y Agua De Consumo En La Parroquia Papallacta. *Facultad de ingeniería en geología y petróleos*, 244. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19760>
- Kabata, A. (2000). *Trance Elements in Soils and Plants*. (C. Press boca Raton (ed.); 4th editio).

- Kocar, B. D., Polizzotto, M. L., Benner, S. G., Ying, S. C., Ung, M., Ouch, K., Samreth, S., Suy, B., Phan, K., Sampson, M., & Fendorf, S. (2008). Integrated biogeochemical and hydrologic processes driving arsenic release from shallow sediments to groundwaters of the Mekong delta. *Applied Geochemistry*, 23(11), 3059–3071. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.06.026>
- Lahora. (2018, noviembre 18). Arsénico contamina el agua de las parroquias. *LA HORA*. <https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102201549/arsenico-contamina-el-agua-de-las-parroquias->
- Lillo, J. (2003). *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas*. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnológicas.
- MAE. (1996). *ESTUDIO DE SUELOS DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Mahmut, O., & Ayhan, S. (2005). *A kinetic study of metal complex dye sorption onto pine sawdust*. (Process Bi).
- Mandal, K., & Suzuki, B. (2002). *Arsenic round the world: a review*. *Talanta* (58a ed.).
- Manrique. (2006). *SUELO DE LSO ILINIZAS*. <http://alvaroilinizas.blogspot.com/p/los-ilinizas.html>
- Mart, J. F. (2016). *Caracterización química, física y biológica de suelos de la granja agroecológica uniminuto villavicencio*. 1–119.
- Mason, B. J. (1992). Preparation of soil sampling protocols: Sampling techniques and strategies. *Other Information: See also PB--83-206979, July, Medium: X; Size: Pages: (166 p)*. <https://doi.org/EPA/600/R-92/128>
- Matschullat, J. (2000). *Arsenic in the geosphere-a review*. (S. of the T. E. 249 (ed.)).
- Mckay, Y.-S., & Ho, G. (1999a). *A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith*. (Resourcess).
- Mckay, Y.-S., & Ho, G. (1999b). *Pseudosecond order model for sorption processes*. (Process Bi).

- Mckay, Y.-S., & Ho, G. (1999c). *The sorption of lead (II) ions on peat*. (Water Rese).
- MINAM-ECA. (2014). Guía para el muestreo de suelos. *Peru, Ministerio del Ambiente*, 72. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Mondal, P., Majumder, C., & Mohanty, B. (2006). Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 464–479. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.023>
- Morillo Ruano, A. G. (2017). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Tesis*, 1–100. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Nickson, R. T., Mcarthur, J. M., Ravenscroft, P., Burgess, W. G., & Ahmed, K. M. (2000). Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal. *Applied Geochemistry*, 15(4), 403–413. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(99\)00086-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00086-4)
- Niparaja and CONAGUA. (2005). *Estudio Del Arsenico En Baja California Sur*. 1–15.
- Nordstrom, D. K., Alpers, C. N., Ptacek, C. J., & Blowes, D. W. (2000). Negative pH and extremely acidic mine waters from Iron Mountain, California. *Environmental Science and Technology*, 34(2), 254–258. <https://doi.org/10.1021/es990646v>
- Peirano, S. (2019). *Cinética Química*.
- Rahman, M. H., Rahman, M. M., Watanabe, C., & Yamamoto, K. (2001). Arsenic Contamination of Groundwater in Bangladesh and Its Remedial Measures. *Proceedings of the UNU-NIES International Workshop, United Nations University and Japan National Institute for Environmental Studies, August 2015*, 9–22.
- Raven, K., Jain, A., & Loeppert, R. (1998). *Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: kinetics, equilibrium, and adsorption envelopes*.
- Rice, E., & Baird, R. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* (22 edición).
- Rodríguez, B., & Vallejo, P. (2007). *Distribución , especiación y movilización del arsénico en las aguas geotermales de la zona centro-norte de los andes ecuatorianos*. 1–113. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2323/1/T-ESPE-018646.pdf>

- Satinder, A. (2008). *Arsenic Contamination of Groundwater* (Wiley & U. S. of A. New Jersey (eds.); 1er edició).
- Sharma, V., & Sohn, M. (2009). *Aquatic arsenic: toxicity, speciation, transformations, and remediation* (E. 35 Internattional (ed.)).
- Smedley, P., & Kinniburgh, D. (2002). *A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters* (A. geochemist. 17 (ed.)).
- SNI. (2014). *SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÒN*. <https://sni.gob.ec/inicio>
- PUCE, (2021).
- Sugey, O. S. N., & Isabel, G. M. R. (2016). *Estudio de la cinética de adsorción y desorción de Mercurio en sistema batch y su remoción en columnas empacadas con quitosano*  
**TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR.**  
<http://ribuni.uni.edu.ni/1189/1/80588.pdf>
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras*.
- USEPA. (2000). *agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos*.  
<https://www.epa.gov/>
- WHO. (2008). *Organización Mundial de la Salus*. <https://www.who.int/es>
- World Health Organization. (2011). Arsenic in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. *World Health Organization*.  
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75375/WHO\\_SDE\\_WSH\\_03.04\\_75\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/75375/WHO_SDE_WSH_03.04_75_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zhao, F. J., McGrath, S. P., & Meharg, A. (2010). *Arsenic as a food chain contaminant: Mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies*.



## 17. ANEXOS

### ANEXO 1: Hojas de vida.

#### Hoja de Vida del Tutor



#### DATOS PERSONALE

**NOMBRES / APELLIDOS:** JOSÉ LUIS ÁGREDA OÑA

**DIRECCIÓN:** ECUADOR, SAN GABRIEL, PROVINCIA DEL CARCHI, CALDERÓN Y 27 DE SEPTIEMBRE.

**TELEFONOS:** 0986003679-062290451.

**CORREO ELECTRÓNICO:** [jos.agreda@gmail.com](mailto:jos.agreda@gmail.com)/[j\\_luisagreda@hotmail.com](mailto:j_luisagreda@hotmail.com)

**NACIONALIDAD:** ECUATORIANA

**FECHA DE NACIMIENTO:** 9 DE OCTUBRE DE 1987

**CAMPO DE DESEMPEÑO ACTUAL:** EDUCACIÓN SUPERIOR

#### EXPERIENCIA

Universidad Técnica de Cotopaxi	
Fecha	10 de abril 2019-08
Cargo	Docente

Docente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.</li> <li>• Docente Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.</li> <li>• Docente Ruido, Vibraciones y Sistemas de Insonorización.</li> <li>• Coordinador Vinculación Carrera Medio Ambiente</li> </ul>
<b>Universidad Politécnica Estatal del Carchi</b>	
Fecha	Desde el 2 de abril 2018-08 de febrero 2019
Cargo	Docente
Docente	Carrera de Ingeniería en Computación Investigación Académica Vinculación a la Sociedad
<b>Agencia de regulación y control hidrocarburíferas (ARCH)</b>	
Fecha	Desde el 1de septiembre 2014-31de marzo 2018
Cargo	Técnico de control y regulación
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control y regulación de la calidad y volumen de hidrocarburos líquidos derivados de petróleo y gas licuado (glp) así como de su infraestructura para la comercialización.</li> <li>• Control de responsabilidad ambiental y social en las diferentes fases de la industria hidrocarburífera</li> <li>• Gestión pública administrativa</li> </ul>

	<b>Director subrogante regional norte 02/10/2017-16/10/2017</b>
<b>SCHULUMBERGER DEL ECUADOR S. A</b>	
Fecha	23 de septiembre 2013 hasta el 30 de abril del 2014
Cargo	Drilling Fluid Engineer, I (Diseño de Fluidos de Perforación)
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de fluidos de perforación</li> <li>• Titulación Química</li> <li>• Manejo de laboratorio móvil para pruebas en campo de fluidos de perforación y de suelos provenientes del yacimiento petrolífero.</li> <li>• Análisis de suelos contaminados con petróleos para su remediación y posterior incorporación al ambiente</li> </ul>
<b>QMAX DEL ECUADOR S. A.</b>	
Fecha	1ro octubre 2012 – 1ro de febrero del 2013
Cargo	Laboratorista
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pruebas químicas y físicas de suelos contaminados con petróleos para su posterior tratamiento e incorporación al medio ambiente.</li> <li>• Desarrollo de proyecto de titulación en zeolitas como tamices moleculares para descontaminación de metales pesados en</li> </ul>

	<p>suelos provenientes de yacimientos petrolíferos.</p> <p>Apoyo en la administración del laboratorio en procedimientos para el cumplimiento de la normativa legal vigente</p>
--	--

## EDUCACIÓN Y CAPACITACIONES EDUCACIÓN

Fecha	<b>Noviembre 2014 – septiembre 2017</b>
Posgrado	Magister en sistemas de gestión ambiental. (1079-2018-1930244)
Materias principales revisadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de gestión ambiental y responsabilidad social,</li> <li>• Descontaminación de agua, descontaminación de suelos,</li> <li>• Legislación ambiental,</li> <li>• Sistemas informáticos georreferenciales</li> </ul>
Universidad	Universidad de las fuerzas armadas (ESPE), Sangolquí
Fecha	<b>Octubre 2005 - Agosto 2013</b>
Título	Ingeniero en Petróleos (1001-14-
Materias principales revisadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción</li> <li>• Comercialización de Hidrocarburos</li> <li>• Hidráulica de fluidos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de suelos contaminados en base a métodos de tamices moleculares,</li> </ul> Legislación Ambiental
Universidad	Escuela Politécnica Nacional, Quito

## CAPACITACIÓN

Fecha	<b>17 de julio 2019</b>
	Ponente en las primeras jornadas de difusión ambiental
<b>Universidad</b>	Universidad técnica de Cotopaxi
Fecha	<b>5 de julio 2019</b>
	Expositor de curso de 40 horas de plantas de tratamiento de aguas residuales
<b>Universidad</b>	Universidad técnica de Cotopaxi
Fecha	<b>4 de julio 2015 hasta 10 de julio 2015</b>
Field school	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Environmental Management</li> <li>• Intercambio de conocimientos e ideas para generar métodos de evaluación de ciclo de vida de los productos ofertados por la industria de Ecuador</li> <li>• Gestión ambiental en minas de hidrocarburos.</li> </ul>
Universidad	University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá

## HOJA DE VIDA



### DATOS PERSONALES

**NOMBRE:** JESSICA STEFANIA  
**APELLIDO:** ILES GUAMAN  
**CORREO PERSONAL:** stefaniles631@gmail.com  
**CORREO INSTITUCIONAL:** jessica.iles2252@utc.edu.ec  
**FECHA DE NACIMIENTO:** 8 DE MAYO DE 1993  
**TELEFONO:** 0995599550  
**ESTADO CIVIL:** Soltera  
**NACIONALIDAD:** Ecuatoriana  
**DOCUMENTO DE IDENTIDAD:** 1722482252  
**DIRECCIÓN:** VALLE DE LOS CHILLOS-QUITO

### ESTUDIOS REALIZADOS

**PRIMARIA:** ESCUELA “MANUEL QUIROGA”  
**SECUNDARIA:** UNIDAD EDUCATIVA “PEDRO LUIS CALERO”  
**UNIVERSIDAD:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
**CARRERA:** INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE  
**INGLÉS:** SUFICIENCIA EN INGLÉS “B1”

## **CURSOS Y TALLERES REALIZADOS**

Seminario 1ra DIFUSIÓN AMBIENTAL, realizado por la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Cotopaxi – evento realizado en la Casa de la Cultura Núcleo Cotopaxi.

Latacunga, 15,16 y 17 de Julio del 2019.

IV CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO de Ingeniería ambiental, avances y desafíos de la conservación y la sostenibilidad en el Ecuador- realizado en la Teatrina de la Casa de la Provincia del Gobierno Provincial del Azuay.

Cuenca, 3,4 y 5 de abril del 2019.

Seminario de Capacitación a los sujetos de control en planes de manejo ambiental, planes de acción, planes de emergencia, informes de cumplimiento y auditoria en el cantón Latacunga, enfocado en la educación sobre los problemas de cambio climático MÓDULO 1- PROBLEMAS AMBIENTALES, MÓDULO 2- CAMBIO CLIMÁTICO Y MÓDULO 3- GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES

Latacunga, 21 de noviembre 2018.

## HOJA DE VIDA

### DATOS PERSONALES



**NOMBRE:** Jenny Elizabeth  
**APELLIDO:** Vaca Veintimilla  
**CORREO PERSONAL:** [j.elizabeth.vaca.v@hotmail.com](mailto:j.elizabeth.vaca.v@hotmail.com)  
**CORREO INSTITUCIONAL:** jenny.vaca8285@utc.edu.ec  
**FECHA DE NACIMIENTO:** 10 de noviembre de 1994  
**TELEFONO CONVENCIONAL:** 682-392  
**TELEFONO:** 0998204626  
**ESTADO CIVIL:** soltera  
**DOCUMENTO DE IDENTIDAD:** 050368828-5  
**DIRECCIÓN:** Latacunga/ Cristo Rey  
**NACIONALIDAD:** ecuatoriana.

### ESTUDIOS REALIZADOS

**PRIMARIA** Escuela Archipiélago de Colón  
**SECUNDARIA** Instituto Tecnológico Victoria Vascones Cuvi  
**UNIVERSIDAD** Universidad Técnica de Cotopaxi (EGRESADA)  
**CARRERA** Medio Ambiente.  
**INGLÈS** Suficiencia en Inglés “B1”



## **CURSOS Y TALLERES REALIZADOS**

Asistente a la: III JORNADA DE DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN AMBIENTAL -2020. Latacunga, 22 de septiembre del 2020. Duración (40 horas).

Asistente en el IV EDICIÓN DEL CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO “Ingeniería Ambiental, avances y desafíos de la conservación y la sostenibilidad en el Ecuador”. Cuenca 5 de abril del 2019. Duración (40 horas).

Asistente a la: “II JORNADA DE DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AMBIENTAL”. Latacunga, 07 de febrero del 2020. Duración (40 horas).

Asistente a la: “I JORNADA DE DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AMBIENTAL”. Latacunga, 17 de julio del 2019. Duración (40 horas)

Asistente a la: CAPACITACIÓN A LOS SUJETOS DE CONTROL EN PLANEES DE MANEJO AMBIENTAL, PLANES DE ACCIÓN, PLANES DE EMERGENCIA, INFORMES AMBIENTALES DE CUMPLIMIENTO Y AUDITORÍAS EN EL CANTÓN LATACUNGA, ENFOCADO EN LA EDUCACIÓN SOBRE LOS PROBLEMAS DE CAMBIO CLIMÁTICO”. Latacunga, 21 de noviembre del 2018. Duración (8 horas).

Asistente en el foro de” LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI”. Latacunga, 22 de marzo del 2018.

## ANEXO 2: Guía de manejo de muestras.

Tabla N°4: Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes.

PARÁMETRO	TIPO DE RECIENTE	TEMPERATURA DE PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN
Compuestos Orgánicos Volátiles COV's.	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón.	4º C.	14 días.
BTEX.			
Hidrocarburos Fracción Ligera			
Hidrocarburos Fracción Media			
Hidrocarburos Fracción Pesada			
Compuestos Orgánicos Semi-volátiles COSV's y Plaguicidas.			
Metales Pesados y Metaloides.	Bolsas de polietileno densa.	Sin restricciones.	Sin restricciones.
Mercurio (Hg).	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4º C.	14 días.
PCB.	Viales de vidrio con cierre de Teflón.	4º C.	14 días.
PAH.	Viales de vidrio con cierre de Teflón.	4º C.	14 días.

## ANEXO 3: Criterios de calidad de máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097 A.

TABLA 2: CRITERIOS DE REMEDIACIÓN (VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES)

Parámetro	*Unidades	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/mm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	12	12	12	12

#### ANEXO 4: Datos ancilares.

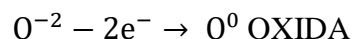
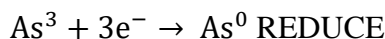
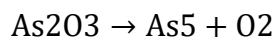
**Transformación de unidades y cálculos previos para el estudio.**

**Límites permisibles acuerdo 12mg/kg:**

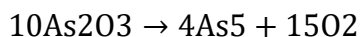
$$12mg * \frac{1g}{1000mg} = 0,012g \text{ de arsenico}$$

**Obtención del mecanismo de reacción =**

Para ello, se realizó la reacción del  $As_2O_3$ , luego su igualación que corresponde a una reacción de reducción-oxidación (redox):



Tenemos Oxido de arsénico (III) reacciona en arsénico (V) que es el componente reductor y oxígeno como componente que se oxida, por lo cual se recurre hacer el balanceo de la ecuación por el método de tanteo.



**Peso molecular del compuesto:**

$$PM(As_2O_3) = 149,84 \text{ g. mol}^{-1}(As_2) + 47,97 \text{ g. mol}^{-1}(O_3) = 197,81 \text{ g. mol}^{-1}$$

**Preparación de la solución:**

$$\frac{197,81 \text{ g} \cdot 0,001 \text{ ml}}{149,84 \text{ g}} = 0,00132 \text{ g/ml} = 1,32 \text{ mg arsenico} \cdot \text{ml agua (pureza)}$$

**Se utilizo:**

En estado natural se obtiene  $175 \text{ ug} = 0,000175 \text{ g}$

Para la contaminación se utiliza  $375 \text{ ug} = 0,000375 \text{ g}$  de arsénico

**Moles del soluto:**

$$M(\text{As}_2\text{O}_3) = 500 \text{ ug} \cdot \text{L}^{-1} = 0,0005 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$M(\text{As}_2\text{O}_3) = 0,0005 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{197,81 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 2,53 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

## ANEXO 5: Estudio de campo.



**Ilustración 1.** Toma de las coordenadas geográficas.



**Ilustración 2.** Toma de la muestra.



**Ilustración 3.** Medición de suelo.



**Ilustración 5.** Conservación de las muestras.

**ANEXO 6: Laboratorio.**



**Ilustración 6.** Medición del suelo



**Ilustración 7.** Trióxido de Arsénico



**Ilustración 8.** Medición del Trióxido de arsénico



**Ilustración 9.** Contaminación del suelo con arsénico.



**Ilustración 10.** Agitación de la solución.



**Ilustración 11.** Muestra contaminada en los tubos de ensayo



**Ilustración 12.** Centrifugación de la solución.



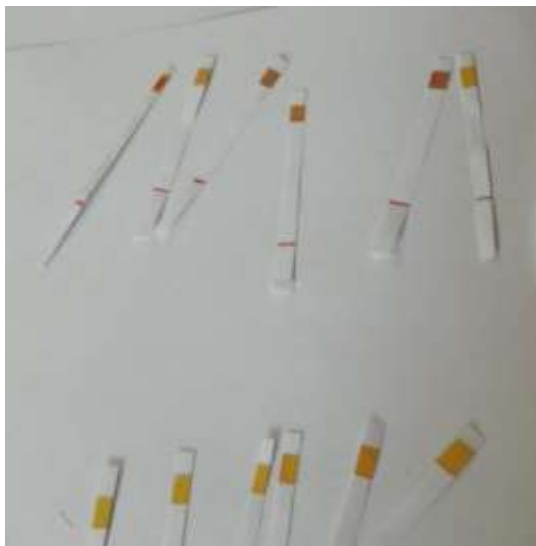
**Ilustración 13.** Añadir reactivos



**Ilustración 14.** Medición de arsénico (tiras reactivas)



**Ilustración 15.** Medición de arsénico (tiras reactivas)



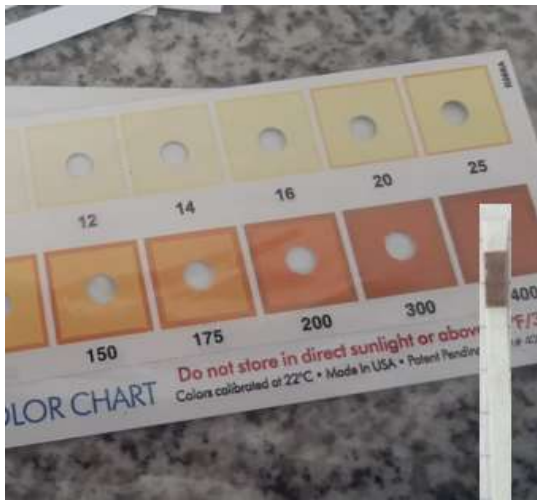
**Ilustración 16.** Tiras de reacción del arsénico.



**Ilustración 17.** Resultado de Tira reactiva del suelo sin contaminar.



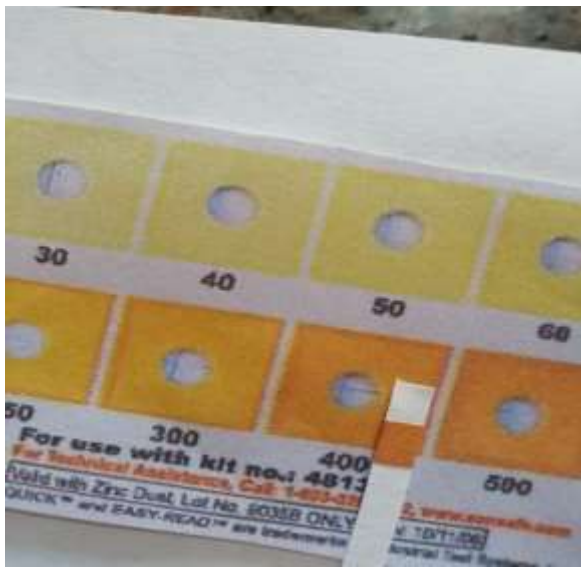
**ANEXO 7:** Tiras reactivas de los resultados del modelo 1.



**Ilustraciòn 18.** Resultado de Tira reactiva a 0 horas.



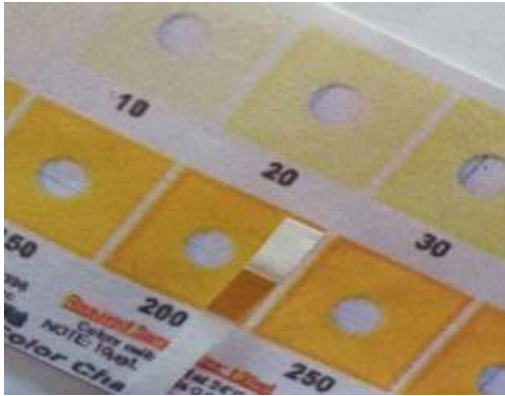
**Ilustraciòn 19.** Resultado de Tira reactiva a 0.3 horas.



**Ilustraciòn 20.** Resultado de Tira reactiva a 1 horas.



**Ilustraciòn 21.** Resultado de Tira reactiva a 2 horas.



**Il·lustraci3n 22.** Resultado de Tira reactiva a 3 horas.



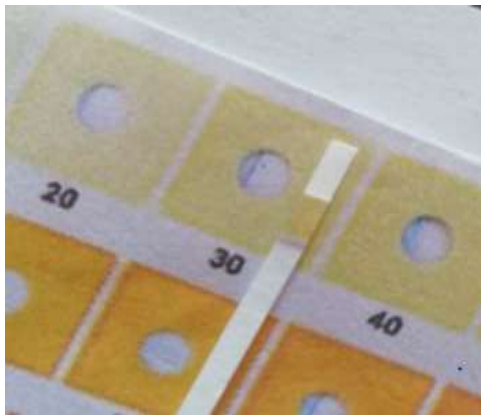
**Il·lustraci3n 23.** Resultado de Tira reactiva a 6 horas.



**Il·lustraci3n 24.** Resultado de Tira reactiva a 8 horas.



**Il·lustraci3n 25.** Resultado de Tira reactiva a 12 horas.

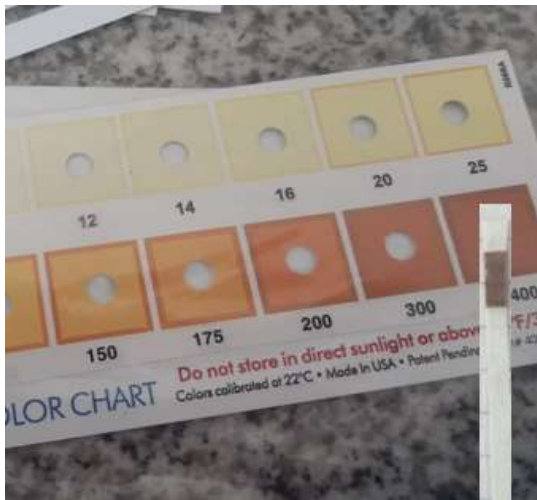


**Il·lustraci3n 26.** Resultado de Tira reactiva a 24 horas.



**Il·lustraci3n 27.** Resultado de Tira reactiva a 48 horas.

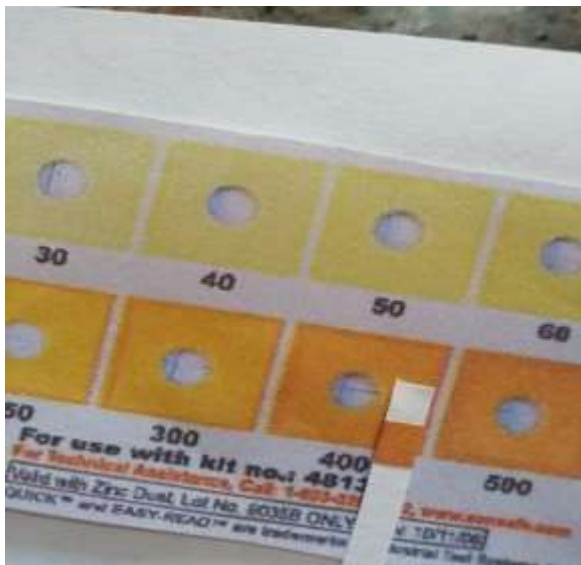
**ANEXO 8:** Tiras reactivas de los resultados del modelo 2.



**Ilustraciòn 28.** Resultado de Tira reactiva a 0 horas.



**Ilustraciòn 29.** Resultado de Tira reactiva a 0.3 horas.



**Ilustraciòn 30.** Resultado de Tira reactiva a 1 horas.



**Ilustraciòn 31.** Resultado de Tira reactiva a 2 horas.



**Il·lustraciòn 32.** Resultado de Tira reactiva a 3 horas.



**Il·lustraciòn 33.** Resultado de Tira reactiva a 6 horas.



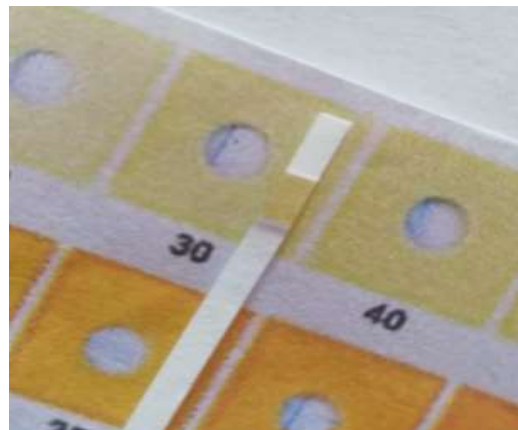
**Il·lustraciòn 34.** Resultado de Tira reactiva a 8 horas.



**Il·lustraciòn 35.** Resultado de Tira reactiva a 12 horas.

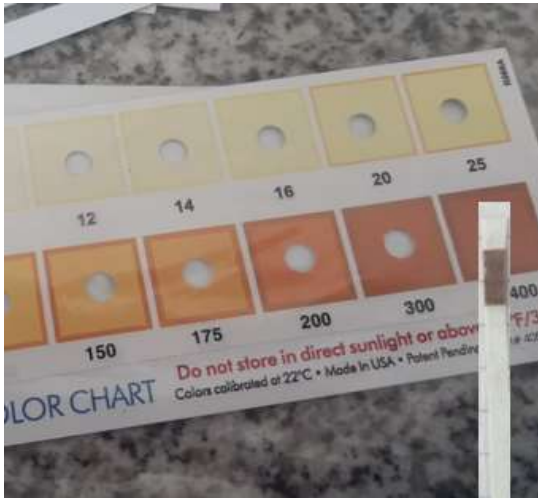


**Il·lustraciòn 36.** Resultado de Tira reactiva a 24 horas.

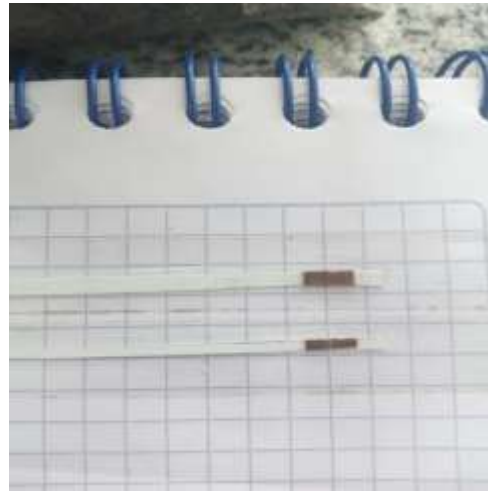


**Il·lustraciòn 37.** Resultado de Tira reactiva a 48 horas.

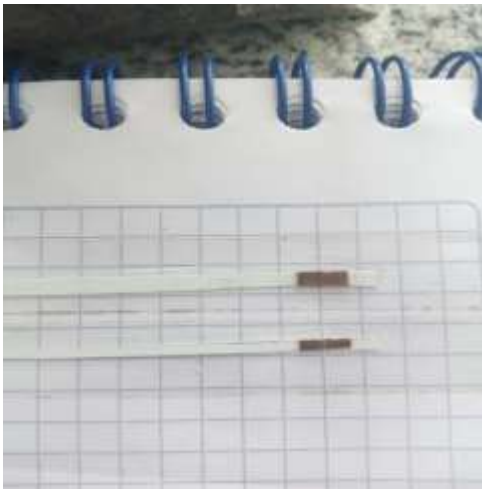
**ANEXO 9:** Tiras reactivas de los resultados del modelo 3.



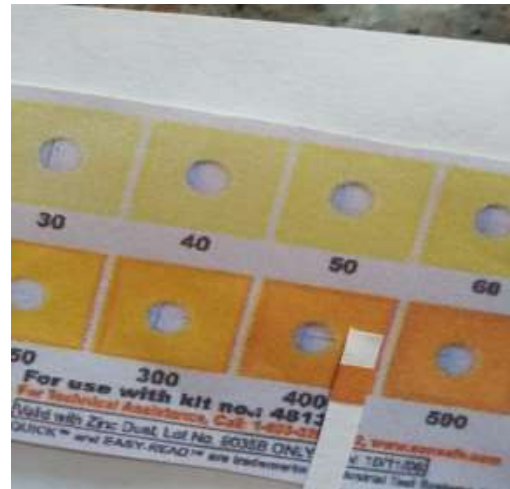
**Ilustraciòn 38.** Resultado de Tira reactiva a 0 horas.



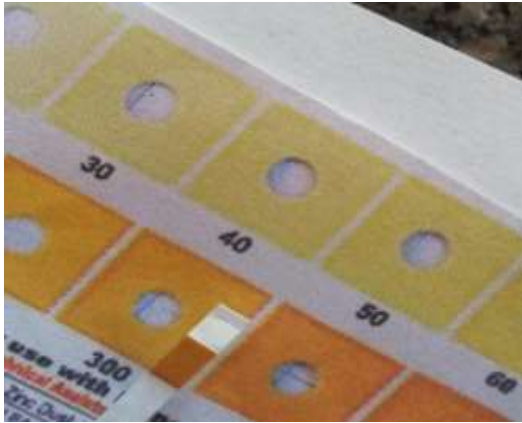
**Ilustraciòn 39.** Resultado de Tira reactiva a 0.3 horas.



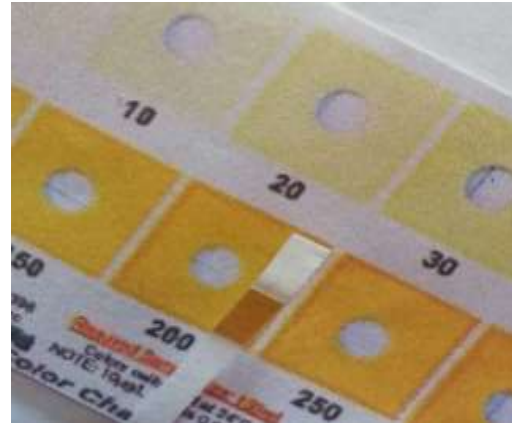
**Ilustraciòn 40.** Resultado de Tira reactiva a 1 horas.



**Ilustraciòn 41.** Resultado de Tira reactiva a 2 horas.



**Il·lustraci3n 42.** Resultado de Tira reactiva a 3 horas.



**Il·lustraci3n 43.** Resultado de Tira reactiva a 6 horas.



**Il·lustraci3n 44.** Resultado de Tira reactiva a 8 horas.



**Il·lustraci3n 45.** Resultado de Tira reactiva a 12 horas.



**Il·lustraci3n 46.** Resultado de Tira reactiva a 24 horas.



**Il·lustraci3n 47.** Resultado de Tira reactiva a 48 horas.

## ANEXO 10: Análisis de laboratorio o INIAP.

MC-LASPA-2201-01

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. SIN Cutigagua. Tels. (02) 3037294 / (02)2504240 Mail: laboratorio_dsa@iniap.gub.ec	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0015

NOMBRE DEL CLIENTE: Chisaguano Chisaguano Jimmy Israel PETICIONARIO: Chisaguano Chisaguano Jimmy Israel EMPRESA/INSTITUCIÓN: Chisaguano Chisaguano Jimmy Israel DIRECCIÓN: Sigchocalle, Salcedo	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14/01/2021 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 10:30 FECHA DE ANÁLISIS: 18/01/2021 FECHA DE EMISIÓN: 22/01/2021 ANÁLISIS SOLICITADO: SUELO 2	
--	---	--

Análisis	PH	N	P	S	B	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	E Bases	MO*	CO.*	Textura (N)*				IDENTIFICACIÓN																	
																			Arena	Limo	Arilla	Clase Textural																		
Unidad		ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%																						
21-0192	5,54	Me Ac	50	M	18	M	11	B	0,68	B	0,20	M	12,28	A	1,60	A	5,5	M	5,4	A	1130	A	13,7	M	7,85	7,88	89,08	14,08											Muestra # 1	
21-0193	5,93	Me Ac	17	B	4	B	4,8	B	0,30	B	0,04	B	4,48	A	0,43	M	2,8	B	4,9	A	153	A	5,3	M	10,54	11,91	137,47	4,94												Muestra # 2
21-0194	8,19	Me Al	30	B	49	A	11	B	3,06	A	0,02	B	15,10	A	1,95	A	3,4	M	4,2	A	200	A	13,2	M	7,73	125,58	1096,21	17,07												Muestra # 3
21-0195	5,97	Me Ac	43	M	13	M	8,6	B	0,68	B	0,03	B	14,13	A	2,20	A	2,7	B	6,3	A	1255	A	10,2	M	8,46	85,00	833,71	16,42												Muestra # 4
21-0196	5,61	Me Ac	92	A	10	B	8,6	B	0,34	B	0,28	M	5,15	A	0,88	A	4,1	M	6,6	A	1253	A	7,5	M	5,82	3,13	21,37	8,31												Muestra # 5

Análisis	AlH*	AP*	Na*	C.E.	N. Total	N-NCO	KH2O*	P H2O*
Unidad	meq/100g		dSm	%	ppm	ppm	ppm	


OBSERVACIONES: \* Ensayos no solicitados por el cliente

MÉTODOS USADOS			
pH *	Solo: Agua 1:25	PH 2A/10	Olan Modificado
SR *	Turbidez de Calcio	Ca 14/10/20	Olan Modificado

INTERPRETACIÓN		
pH		Elemento
A = Acido	B = Neutro	S = Base


ABREVIATURAS	
C.E =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

# ANEXO 11: Análisis PUCE granulométrica.



# PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,  
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA  
INFORME DE ENSAYO  
**CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (USCS)**

**UBICA:** Construcción Moderna de Baños de la Reserva Olonara

**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

**MUESTRA:** Muestra tomada por el Cliente

**NORMA:** ASTM D 2007

**DESCRIPCIÓN:** FFA (GL-41) arena

**REALIZADO POR:** Johnny Chiguano

**VALIDACIÓN:** \_\_\_\_\_

**CONTRATISTA:** \_\_\_\_\_

**FECHA INICIO:** 2011-01-04

**FECHA FIN:** 2011-01-08

**ORDEN DE TRABAJO N°:** 4952-1

**HOJA:** 1 de 2

1- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Temp.	Temp. a 6h.	Temp. a 24h.	% Humedad	% Hum. Presente
17.76	19.04	20.08	66.72	49.86
14.80	16.30	16.22	66.80	49.86

2- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 2008

**SUELO NO PLÁSTICO**


3- LÍMITE LÍQUIDO - Norma ASTM D 4052

**SUELO NO PLÁSTICO**

4- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - Norma ASTM D 422

Tamaño	75"	150"	300"	600"	1.18"	2.5"	5.0"	9.5"	19"	37.5"	75"
ABERTURA (mm)	3.0	6.0	12.5	25.0	30.0	63.5	125	190	475	950	1900
Porcentaje retenido	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
% que pasa	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

**GRÁFICO GRANULOMÉTRICO**



5- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

**HEMBIDAD NATURAL (%)**

**% Hembidad: 0**

**LÍMITES DE ATTERBERG:**

Límite Líquido, LL: NP

Límite Plástico, LP: NP

Índice de Plasticidad, IP: NP

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

% Grava: 0


% Arena: 0

% Fines: 0


CLASIFICACIÓN A.E.S. **SM**

NOMBRE TÍPICO: Arena limpiada

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente.



RESPONSABLE DE ÁREA




LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA

Ing. Jorge Chiguano, M.Sc.

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Vestimilla y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593(2) 290 1529  
Cel.: 099 704 9430  
Quito - Ecuador  
L.M.C.-P.U.C.E@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



IFTS





**PUCE**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS  
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTÉCNICA  
INFORME DE ENSAYO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (USCS)

PROYECTO: Construcción de la Base de la Nueva Base  
LOCALIZACIÓN: Surco  
MOEDRA: Nueva Avenida por el Centro  
NORMA: ASTM D 2987  
DESCRIPCIÓN: F17-Greda 4100 mm

SOLICITADO POR: Sonora Chimango  
PROCESADO POR:  
CONTRATISTA:  
FECHA INGRESO: 2021-03-04  
FECHA ENTREGA: 2021-03-08  
ORDEN DE TRABAJO N°: 0001-2  
MESA: 2 de 3

1.- CONTENIDO DE HUMEDAD - Norma ASTM D 2216

Rep.	Rep. + ab.	Rep. + ab.	% Humedad	% Hum. Promed.
07.29	09.60	06.75	107.40	107.38
07.51	07.10	06.20	107.07	

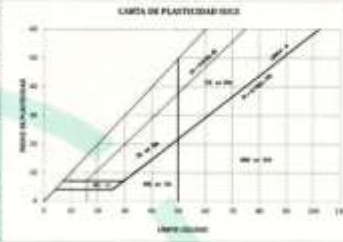
2.- LÍMITE PLÁSTICO - Norma ASTM D 419

Rep.	Rep. + ab.	Rep. + ab.	% Humedad	% Hum. Promed.
10.09	10.08	11.20	100.21	100.21
6.57	10.40	10.07	100.07	100.14

3.- LÍMITE LÍQUIDO - Norma ASTM D 4318

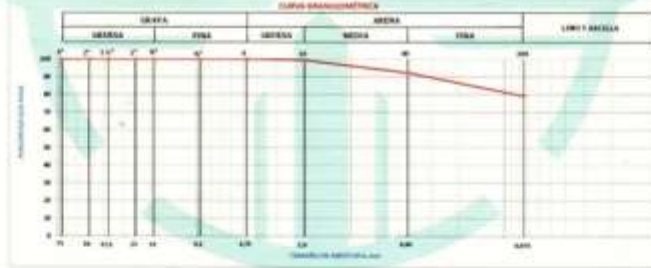
A MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE LÍQUIDOS	Rep.	Rep. + ab.	Rep. + ab.	% Humedad
14	0.64	20.00	20.64	100.21
20	0.06	20.00	20.06	100.04
17	0.20	20.00	20.20	100.00



4.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - Norma ASTM D 6913

TAMIZ N°	Ø	Ø'	Ø''	Ø'''	Ø''''	Ø'''''	Ø''''''	Ø'''''''	Ø''''''''	Ø'''''''''
ABERTURA (mm)	75.0	60.0	47.5	37.5	30.0	25.0	20.0	15.0	12.5	10.0
% PASA	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



5.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN

HEMEDAD NATURAL (%)  
Humedad (PS): 100  
LÍMITE DE ATTERBERG  
Límite Líquido, LL: 100  
Límite Plástico, LP: 10  
Índice de Plasticidad, IP: 90

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Grava (%) = 0  
Arena (%) = 21  
Fines (%) = 79

CONTENIDO ORGÁNICO (%)

El resultado es: 0.00 - no está al límite - OK

CLASIFICACIÓN USCS: **OH** NOMBRE TÍPICO: Límite orgánico muy alto

NOTA: Este informe no puede ser reproducido parcialmente.

Ing. Administrativa  
RESPONSABLE DE ÁREA



Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Tel: 3932 299 1529  
Cél: 098 704 9430  
Quito - Ecuador  
E-MAIL: PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



## ANEXO 12: Resultados del análisis de Aluminio en 5 muestras.



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES**  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
AREA QUÍMICA

---

**INFORME DE ENSAYO No.: 38660-01-12-01-21-Q**

---

**Datos del Cliente**

Cliente:	JIMMY CHRISAGUANO		
Representante:	Jimmy Chrisaguano		
Dirección:	Salcedo		
Teléfono:	984177184		

---

**Datos del ítem de Ensayo**

Identificación de la Muestra:	SUELO P17		
Descripción de la Muestra:	Sólido heterogéneo color café claro		
Contenido declarado:	100g	No. Lote o código:	ND
Conservación de la Muestra:	Ambiente	Fecha de elaboración:	ND
		Fecha de caducidad:	ND

---

**Datos de Muestreo, Recepción y Análisis**

Responsable toma de muestra:	Por el cliente	Fecha de toma de muestra:	ND
Responsable muestreo:	NA	Fecha de recepción:	2021-01-12
Referencia:	Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió	Fechas de ensayo:	2021-01-14
Parámetros acreditados muestreo:	NA	Fecha de reporte:	2021-01-19

---

Resultados analíticos: Pag: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aluminio (Al)	EPA 7000B Espectrometría de Absorción Atómica	mg/kg	271,42

EPA: Environmental Protection Agency



*Ing. Francisco Alvarez*  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
RESPONSABLE DE ANALISIS

*Q.F. Andrea Cumba A.*  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
RESPONSABLE DE SUPERVISION

- Notas:**
- ND: No declara** NA: No aplica
- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
- NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 95-4
- NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo, que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
- NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Inf. PCE.7.8.1 Rev. 03 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América 1011 232 y Av. Mariana de Jesús  
Tel: (593 2) 2260342 / 2203792 Fax: Ext. 102 Celular: 098448872  
e-mail: info@centrocesal.com.ec / www.centrocesal.com.ec  
QUITO - ECUADOR



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES**  
**CENTROCESAL Cía. Ltda.**  
**AREA QUÍMICA**

**INFORME DE ENSAYO No.: 38660-02-12-01-21-Q**

**Datos del Cliente**

**Cliente:** JIMMY CHISAGUANO  
**Representante:** Jimmy Chisaguano  
**Dirección:** Salcedo  
**Teléfono:** 984177164

**Datos del ítem de Ensayo**

**Identificación de la Muestra:** SUELO P12  
**Descripción de la Muestra:** Sólido heterogéneo color café oscuro  
**Contenido declarado:** 100g **No. Lote o código:** ND  
**Conservación de la Muestra:** Ambiente **Fecha de elaboración:** ND  
**Fecha de caducidad:** ND

**Datos de Muestreo, Recepción y Análisis**

**Responsable toma de muestra:** Por el cliente **Fecha de toma de muestra:** ND  
**Responsable muestreo:** NA **Fecha de recepción:** 2021-01-12  
**Referencia:** Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió **Fechas de ensayo:** 2021-01-14  
**Parámetros acreditados muestreo:** NA **Fecha de reporte:** 2021-01-19

**Resultados analíticos:** Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aluminio (Al)	EPA 7000B Espectrometría de Absorción Atómica	mg/kg	7454,32

EPA: Environmental Protection Agency



*Ing. Francisco Alvarez*  
**CENTROCESAL Cía. Ltda.**

RESPONSABLE DE ANALISIS

*Q.F Andrea Cumba A.*  
**CENTROCESAL Cía. Ltda.**

RESPONSABLE DE SUPERVISION

**Notas:**

- ND:** No declara **NA:** No aplica  
**NOTA 1:** Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.  
**NOTA 2:** Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.  
**NOTA 3:** Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.  
**NOTA 4:** La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.  
**NOTA 5:** El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.  
**NOTA 6:** Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.  
**NOTA 7:** La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4.  
**NOTA 8:** Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.  
**NOTA 9:** Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Int. PDE 7.8.1 Rev. 00 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. Amazonas N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
 Telf: (093 2) 2230362 / 2237900 Fax: Ext. 100 Celular: 099449812  
 e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
 QUITO - ECUADOR



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES  
CENTROCESAL Cia. Ltda.  
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 38660-03-12-01-21-Q

Datos del Cliente

Cliente: JIMMY CHISAGUANO  
Representante: Jimmy Chisaguano  
Dirección: Salcedo  
Teléfono: 984177164

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: SUELO P5  
Descripción de la Muestra: Sólido heterogéneo color café  
Contenido declarado: 100g No. Lote o código: ND  
Conservación de la Muestra: Ambiente Fecha de elaboración: ND  
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente Fecha de toma de muestra: ND  
Responsable muestreo: NA Fecha de recepción: 2021-01-12  
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió. Fechas de ensayo: 2021-01-14  
Parámetros acreditados muestreo: NA Fecha de reporte: 2021-01-19

Resultados analíticos: Pág.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aluminio (Al)	EPA 7000B Espectrometría de Absorción Atómica	mg/kg	7174,33

EPA: Environmental Protection Agency



Ing. Francisco Alvarez  
CENTROCESAL Cia. Ltda.

RESPONSABLE DE ANALISIS

Q.F. Andrea Cumba A.  
CENTROCESAL Cia. Ltda.

RESPONSABLE DE SUPERVISION

- Notas:
- ND: No declara
  - NA: No aplica
  - NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
  - NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
  - NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
  - NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiere o cuando afecta a los límites de una especificación.
  - NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 30 días desde la entrega del resultado.
  - NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
  - NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 9004.
  - NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
  - NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecte a la validez de los resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes los envían y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Ref: PQR-T.8.1 Rev. 03 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América 507-222 y Av. Matías de Jesús  
Tel: (991 2) 3238342 / 2232792 Fax: Ext. 100 Cobán 59664879  
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
Guatemala - Guatemala



CENTRO DE SOLUCIONES ANALÍTICAS INTEGRALES  
CENTROCESAL Cía. Ltda.  
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 38660-04-12-01-21-Q

Datos del Cliente

Cliente: JIMMY CHISAGUANO  
Representante: Jimmy Chisaguano  
Dirección: Salcado  
Teléfono: 994177164

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: SUELO P50  
Descripción de la Muestra: Sólido heterogéneo color café  
Contenido declarado: 100g  
Conservación de la Muestra: Ambiente

No. Lote o código: ND  
Fecha de elaboración: ND  
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Responsable toma de muestra: Por el cliente  
Fecha de toma de muestra: ND  
Responsable muestreo: NA  
Fecha de recepción: 2021-01-12  
Referencia: Los resultados se aplican a la muestra  
del cual como se recibió  
Fecha de ensayo: 2021-01-14  
Parámetros acreditados muestreo: NA  
Fecha de reporte: 2021-01-19

Resultados analíticos: Pag: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aluminio (Al)	EPA 7000B Espectrometría de Absorción Atómica	mg/kg	2590,25

EPA: Environmental Protection Agency



Ing. Francisco Alvarez  
CENTROCESAL Cía. Ltda.  
RESPONSABLE DE ANALISIS

Q.F. Andrea Cumba A.  
CENTROCESAL Cía. Ltda.  
RESPONSABLE DE SUPERVISION

Notas:

- ND: No declara NA: No aplica
- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a períodos: 48 horas y no períodos: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
- NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 9004.
- NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los registros de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
- NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecte a la validez de los resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las envían y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Tel: 994 781 100 - 01-01-21

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. Amalio 101-102 y Av. Ricardo de Jorja  
Telf: (992) 2220340 | 2220796 Fax: 994 155 Correo: 898989812  
e-mail: info@centrocesal.com | www.centrocesal.com  
QUITO - ECUADOR



**CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES**  
**CENTROCESAL Cia. Ltda.**  
**AREA QUIMICA**

**INFORME DE ENSAYO No.: 38660-05-12-01-21-Q**

**Datos del Cliente**

**Cliente:** JIMMY CHISAGUANO  
**Representante:** Jimmy Chisaguano  
**Dirección:** Salcedo  
**Teléfono:** 984177164

**Datos del ítem de Ensayo**

**Identificación de la Muestra:** SUELO P7  
**Descripción de la Muestra:** Sólido heterogéneo color café  
**Contenido declarado:** 100g **No. Lote o código:** ND  
**Conservación de la Muestra:** Ambiente **Fecha de elaboración:** ND  
**Fecha de caducidad:** ND

**Datos de Muestreo, Recepción y Análisis**

**Responsable toma de muestra:** Por el cliente **Fecha de toma de muestra:** ND  
**Responsable muestreo:** NA **Fecha de recepción:** 2021-01-12  
**Referencia:** Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió **Fechas de ensayo:** 2021-01-14  
**Parámetros acreditados muestreo:** NA **Fecha de reporte:** 2021-01-19

**Resultados analíticos:** Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO
Aluminio (Al)	EPA 7000B Espectrometría de Absorción Atómica	mg/kg	6874,25

EPA: Environmental Protection Agency



*ing. Francisco Alvarez*  
 CENTROCESAL Cia. Ltda.

RESPONSABLE DE ANALISIS

**Q.F. Andrea Cumba A.**  
 CENTROCESAL Cia. Ltda.

RESPONSABLE DE SUPERVISION

**Notas:**

- ND:** No declara **NA:** No aplica
- NOTA 1:** Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2:** Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
- NOTA 3:** Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis
- NOTA 4:** La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5:** El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6:** Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
- NOTA 7:** La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
- NOTA 8:** Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones
- NOTA 9:** Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

Intr.-POE7.8.1 Rev. 03 Anexo 1

**Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio**

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús  
 Telf: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099640872  
 e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com  
 QUITO - ECUADOR

## ANEXO 13: PH INIAP.

**Tabla 25:** Análisis de ph de las 22 Muestras

Punto	Ph	Interpretación
1	6,14	Moderadamente ácido
2	5,10	Moderadamente ácido
3	5,56	Moderadamente ácido
4	5,9	Moderadamente ácido
5	5,71	Moderadamente ácido
6	<b>5,61</b>	Moderadamente ácido
7	5,63	Moderadamente ácido
8	5,79	Moderadamente ácido
9	<b>5,97</b>	Moderadamente ácido
10	5,43	Moderadamente ácido
11	5,39	Moderadamente ácido
12	6,37	Moderadamente ácido
13	5,04	Moderadamente ácido
14	6,82	Neutro
15	6,90	Neutro
16	5,02	Ácido
17	8,00	Moderadamente alcalino
18	<b>8,19</b>	Moderadamente alcalino
19	8,15	Moderadamente ácido
20	8,17	Moderadamente ácido
21	<b>5,54</b>	Moderadamente ácido
22	<b>5,93</b>	Moderadamente ácido

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota;** Los resultados marcados son aquellas que al momento de ser muestreadas tuvieron factores naturales involucrados y ello provoca una alteración en el análisis de laboratorio.

#### ANEXO 14: Análisis PUCE granulométrico.

**Tabla 26:** Análisis granulométrico de las 22 muestras.

Puntos	Grava (%)	Arena %	Finos (%)
1	0	20	77
2	1	64	34
4	1	66	32
10	0	22	80
12	0	21	77
13	1	66	32
15	0	21	78
16	1	65	35
17	0	21	79
20	0	20	78
22	0	22	79

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota;** En la tabla se presentan los resultados obtenidos tanto “de la curva promedio de los suelos que presentaron alteraciones a la hora del muestreo por factores naturales de la Reserva Ecológica Ilinizas” “La curva promedio de los suelos que no presentan alteración a la hora del muestreo por factores naturales de la Reserva Ecológica Ilinizas”.



## ANEXO 15: Sólidos Volátiles.

**Tabla 27:** Resultados para la identificación de sólidos volátiles de las 22 muestras.

Muestra	(M.0) g	(M.1) g	(M.2) g	%M .O.
Punto 1	61,52	81,52	77,75	18,85
Punto 2	63,88	83,88	81,60	11,40
Punto 3	65,65	85,65	82,13	17,60
Punto 4	61,52	81,52	79,44	10,4
Punto 5	63,88	83,88	80,51	16,85
Punto 6	65,65	85,65	80,85	24
Punto 7	61,52	81,52	75,80	28,65
Punto 8	63,88	83,88	78,42	27,30
Punto 9	65,65	85,65	80,90	23,75
Punto 10	61,52	81,52	78,90	21,35
Punto 11	63,88	83,88	79,60	21,40
Punto 12	65,65	85,65	81,46	20,95
Punto 13	61,52	81,52	78,95	12,85
Punto 14	63,88	83,88	79,45	19,40
Punto 15	65,65	85,65	81,49	20,80
Punto 16	61,52	81,52	79,25	11,35
Punto 17	63,88	83,88	79,75	18,90
Punto 18	65,65	85,65	81,12	22,65
Punto 19	61,52	81,52	75,98	27,70
Punto 20	63,88	83,88	78,95	24,65
Punto 21	65,65	85,65	81,50	19,25
Punto 22	61,52	81,52	77,45	20,35

Elaborado por: Iles S. & Vaca E. (2021)

**ANEXO 16: Resultado del Análisis de (Fe) (Mn) (Mg) (Cu) (Ca).**

**Tabla 28:** Resultado del Análisis de (Fe) (Mn) (Mg) (Cu) (Ca) de las 22 muestras.

<b>Puntos</b>	<b>Fe (ppm)</b>	<b>Mn (ppm)</b>	<b>Mg (meq/100g)</b>	<b>Ca (meq/100g)</b>	<b>Cu (meq/100g)</b>
<b>1</b>	1500 Alto	6 Medio	1,00 Alto	4,89 Alto	6,54 Alto
<b>2</b>	2000 Alto	1,00 Bajo	0 ,10 Bajo	0,02 Bajo	0,02 Bajo
<b>3</b>	1450 Alto	6,70 Medio	0,90 Alto	6, 12 Aalto	5,90 Alto
<b>4</b>	2300 Alto	1,54 Bajo	0,07 Bajo	0,01 Bajo	0,02 Bajo
<b>5</b>	1245 Alto	8,00 Medio	0,91 Alto	5,30 Alto	6,23 Alto
<b>6</b>	1253 Alto	7,5 Medio	0,88 Alto	5,15 Alto	6,6 Alto
<b>7</b>	1300 Alto	9, 14 Medio	2,12 Alto	13,45 Alto	5,90 Alto
<b>8</b>	1275 Alto	9,66 Medio	2,14 Alto	14,05 Alto	5,67 Alto
<b>9</b>	1255 Alto	10,2 Medio	2,20 Alto	14,19 Alto	6,3 Alto
<b>10</b>	1190 Alto	9,60 Medio	1,75 Alto	13,65 Alto	5,90 Alto
<b>11</b>	1187 Alto	9,50 Medio	1,74 Alto	13,45 Alto	5,60 Alto
<b>12</b>	1368 Alto	11,09 Medio	2,65 Alto	15,65 Alto	6, 54 Alto
<b>13</b>	2340 Alto	1,60 Bajo	0, 06 Bajo	0,12 Bajo	0,10 Bajo
<b>14</b>	2379 Alto	2,33 Bajo	2,35 Alto	1,74 Medio	4,45 Alto
<b>15</b>	2400 Alto	2,54 Bajo	2,54 Alto	1,60 Medio	4,65 Alto
<b>16</b>	2356 Alto	2,45 Bajo	0, 05 Bajo	0,17 Bajo	0, 12 Bajo
<b>17</b>	153 Alto	5,23 Medio	0,45 Medio	4,62 Alto	5,10 Alto
<b>18</b>	200 Alto	13,2 Medio	1,95 Alto	15,10 Alto	4,2 Alto
<b>19</b>	300 Alto	6,07 Medio	0,46 Medio	5,05 Alto	5,00 Alto
<b>20</b>	576 Alto	6,65 Medio	0,74 Medio	6, 00Alto	6,12 Alto
<b>21</b>	1110 Alto	13,7 Medio	1,60 Alto	12,28 Alto	5,4 Alto
<b>22</b>	153 Alto	5,3 Medio	0,43 Medio	4,48 Alto	4,9 Alto

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Obtenido de:** Análisis de Laboratorio INIAP Quito.

## ANEXO 17: Concentración de Aluminio.

**Tabla 29:** Concentración de Aluminio de las 22 muestras.

Puntos	Al (mg/kg)	Interpretación
1	7,14	Alto
2	12,05	Alto
3	7,50	Alto
4	13,43	Muy Alto
5	7,17	Alto
6	7,00	Alto
7	6,87	Alto
8	7,45	Alto
9	7,47	Alto
10	7,67	Alto
11	7,60	Alto
12	7,45	Alto
13	8,15	Muy Alto
14	6,07	Medio
15	6,06	Medio
16	7,89	Alto
17	0,27	Muy Bajo
18	0,45	Muy Bajo
19	4,89	Medio
20	2,59	Medio
21	4,75	Medio
22	0,30	Muy Bajo

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

**Nota:** Se debe trabajar en lo más posible con los materiales de referencia SFA/MRC005.

**ANEXO 18:** Análisis estadístico de los Resultados del Método de Atterberg.

**Tabla 30:** Análisis de las frecuencias de los parámetros de Atterberg.

<b>Variable</b>	<b>Clase</b>	<b>Límite Inferior “LI”</b>	<b>Límite Superior “LS”</b>	<b>Marca de Clase “MC”</b>	<b>Frecuencias Absolutas “FA”</b>	<b>Frecuencias Relativas “FR”</b>	<b>Frecuencias Acumuladas “FAA”</b>
<b>%Humedad</b>	1	[ 94,00	95,00 ]	94,50	2	0,29	2
<b>%Humedad</b>	2	( 95,00	96,00 ]	95,50	2	0,29	4
<b>%Humedad</b>	3	( 96,00	97,00 ]	96,50	3	0,43	7
<b>% L.L</b>	1	[ 86,00	87,00 ]	86,50	2	0,29	2
<b>% L.L</b>	2	( 87,00	88,00 ]	87,50	2	0,29	4
<b>% L.L</b>	3	( 88,00	89,00 ]	88,50	3	0,43	7
<b>IP</b>	1	[ 43,00	44,00 ]	43,50	2	0,29	2
<b>IP</b>	2	( 44,00	45,00 ]	44,50	2	0,29	4
<b>IP</b>	3	( 45,00	46,00 ]	45,50	3	0,43	7

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

## ANEXO 19: Coordenadas.

**Tabla 31:** Coordenadas de los puntos de muestreo.

PUNTOS DE MUESTRO	X	Y	z
1	756092	9925262	4141 msnm
2	756038	9925302	4169 msnm
3	755993	9925340	4190 msnm
4	756147	9925214	4111 msnm
5	756191	9925257	4126 msnm
6	756287	9925269	4132 msnm
7	756318	9925325	4119 msnm
8	756252	9925370	4141 msnm
9	756184	9925406	4161 msnm
10	756102	9925455	4204 msnm
11	756045	9925387	4205 msnm
12	756122	9925325	4159 msnm
13	756214	9925291	4145 msnm
14	756144	9925244	4121 msnm
15	756094	9925204	4124 msnm
16	756101	9925122	4115 msnm
17	756181	9925129	4100 msnm
18	756150	9925048	4100 msnm
19	756186	9925167	4097 msnm
20	756230	9925143	4079 msnm
21	756253	9925092	4070 msnm
22	756307	9925064	4065 msnm

**Elaborado por:** Iles S. & Vaca E. (2021)

## ANEXO 20: Informe de software anti plagio.



# Plagiarism Checker X Originality Report

Similarity Found: 1%

Date: viernes, marzo 12, 2021

Statistics: 185 words Plagiarized / 14844 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

1 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES TÍTULO: "DETRMINACIÓN UNMOO CINÉICA REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020- 2021" . AUTORES: Iles Guamán Jessica Stefania Vaca Veintimilla Jenny Elizabeth RESUMEN El Arsénico se ha convertido en un problema global y el Ecuador no es la excepción, siendo así un reto ambiental, al tratar de disminuir la concentración de este metal pesado en el suelo, existe escasas investigaciones de métodos de remoción por lo que se decidió estudiar el tema.

La presente investigación tiene como objetivo determinar un modelo de cinética de reacción de adsorción de arsénico del suelo de la Reserva Ecológica los Ilinizas, que se encuentra ubicada en la parte norte de la reserva en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, coordenadas Norte x; 756102 y; 9925455 Sur x; 756150 y; 9925048 a 4.125 m.s.n.m.

En el presente estudio se realiza como primera parte, el trabajo de campo, el cual se refiere al muestreo en el lugar de estudio con el método de rejilla aleatorio para los 22 puntos, y luego se realizó el trabajo de laboratorio, el cual se realizó la contaminación con el trióxido de arsénico en el laboratorio de la universidad Técnica de Cotopaxi, para ello se trabajó con una solución de 1 litro y 500 ug/l de arsénico inicial, lo cual está dentro de la norma de Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles) del acuerdo ministerial 097A.

## ANEXO 21: Aval de traductor.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del Proyecto de Investigación, al Idioma Inglés presentado por egresados de la Carrera de **INGENIERIA EN MEDIO AMBIENTE** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**, de los estudiantes, **ILES GUAMAN JESSICA STEFANIA** y **VACA VEINTIMILLA JENNY ELIZABETH**, cuyo título versa **“DETERMINACIÓN DE UN MODELO DE CINÉTICA DE REACCIÓN DE ADSORCIÓN DE ARSÉNICO DEL SUELO DE LA RESERVA ECOLÓGICA LOS ILINIZAS, EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI DURANTE EL PERIODO 2020- 2021.”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a las peticionarias hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, 12 de marzo del 2020

Atentamente,

MSc. Vladimir Sandoval V  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0502104219

1803027935 Firmado  
digitalmente por  
1803027935  
VICTOR HUGO  
ROMERO GARCIA  
Fecha: 2021.03.15  
08:20:02 -05'00'