

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL  
CUSCO**

**ESCUELA DE POS GRADO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS MENCION ECOLOGIA Y GESTION  
AMBIENTAL**



**DISTRIBUCION Y ADSORCION DE MERCURIO EN MINERIA ABANDONADA EN EL  
SECTOR DE LABERINTO – TAMBOPATA –PUERTO MALDONADO**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS MENCION ECOLOGIA Y  
GESTION AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

Br.Liz Andrea Peña Contreras

**Asesora:**

Dra. Violeta Eugenia Zamalloa Acurio

**Tesis financiada por el Programa:**

Yachayninchis Wiñarinanpaq

**CUSCO – PERÚ**

**2022**

## INDICE

RESUMEN.....	7
SUMMARY.....	8
INTRODUCCION.....	9
CAPITULO I.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.1 SITUACION PROBLEMÁTICA.....	12
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA .....	13
a. PROBLEMA GENERAL .....	13
b. PROBLEMA ESPECIFICO.....	13
1.3 JUSTIFICACION .....	14
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	15
1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....	15
CAPITULO II.....	16
MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	16
2.1 BASES TEORICAS .....	16
2.1.1 MINERIA AURIFERA EN PUERTO MALDONADO .....	16
2.1.2 MERCURIO .....	19
2.1.3. ACCION TOXICA.....	25
2.1.4 TOXICOCINETICA.....	26
2.1.5 TOXICODINAMICA.....	35
1.1.5 Espectrofotometría de absorción atómica.....	41
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	42
2.3 ANTECEDENTES EMPIRICOS DE LA INVESTIGACION .....	45
2.3.1 INTERNACIONALES .....	45
2.3.2 NACIONALES .....	46
2.4 MARCO NORMATIVO .....	47
CAPITULO III.....	50
3.1 HIPOTESIS .....	50
3.2 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES E INDICADORES.....	50
CAPITULO IV .....	52
METODOLOGIA.....	52
4.1 AMBITO DE ESTUDIO.....	52
4.1.1 Ubicación Política .....	52
4.1.2 Ubicación Geográfica.....	52

<b>4.1.3</b>	<b>CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE EXTRACCION DE MUESTRAS DE TIERRA Y VEGETACION</b>	57
4.1.3.1	MEDIO FISICO	57
4.1.3.2	GEOMORFOLOGIA	57
4.1.3.3	HIDROGRAFIA	58
4.1.3.4	ECOLOGIA	59
4.1.3.5	CLIMA	59
4.1.3.5.1	TEMPERATURA	62
4.1.3.5.2	PRECIPITACION	62
4.1.3.5.3	HUMEDAD	62
4.1.3.6	ZONA DE VIDA	63
<b>4.2</b>	<b>TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION</b>	64
4.3	UNIDAD DE ANALISIS	65
4.4	POBLACION DE ESTUDIO	65
4.5	TAMAÑO DE MUESTRA DE LA POBLACION	65
4.6	TECNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCION DE INFORMACION PARA SUELO	65
4.7	TECNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCION DE INFORMACION PARA VEGETACION	71
4.8	TECNICAS PARA ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	74
4.9	TECNICAS DE DEMOSTRACION DE LA VERDAD O FALSEDAD DE LAS HIPOTESIS PLANTEADAS	75
<b>CAPITULO V</b>		77
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>		77
5.1.1	DISCUSION DE RESULTADOS	96
<b>CONCLUSIONES</b>		99
<b>RECOMENDACIONES</b>		101
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		102
<b>ANEXOS</b>		106
PROBLEMA ESPECIFICO		106
OBJETIVO ESPECIFICO		106
<b>MATERIALES</b>		107
1. Muestras		107
MATERIALES DE CAMPO		107
MATERIALES DE TRASLADO A LABORATORIO		107
MATERIALES DE ESCRITORIO		108

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables .....	51
Tabla 2. Diferencia máxima entre las medias de los niveles .....	66
Tabla 3. Potencia para ANOVA.....	67
Tabla 4 prueba de normalidad de Kolmogorov .....	75
Tabla 5. Concentración promedio de mercurio por época. ....	81
Tabla 6. Medición promedio de la Capacidad de Adsorción de suelo en épocas de Lluvias .....	83
Tabla 7. Medición promedio de la Capacidad de Adsorción de suelo en épocas de Secas .....	84
Tabla 8. Características Físico Químicas del suelo .....	89
Tabla 9. Clase textural .....	90
Tabla 10. Riqueza de Taxas por familias del área de estudio.....	92
Tabla 11. Concentración de Mercurio en plantas moles $Hg/L \cdot 10^{-9}$ en épocas de lluvias y secas.....	93
Tabla 12. Concentración promedio de Mercurio en plantas por época de lluvia y secas .....	93
Tabla 13. Promedio características físicas y químicas de época de lluvias y época de secas.....	116
Tabla 14. Concentración de Mercurio en el Cuadrante A .....	132
Tabla 15. Concentración de Mercurio en el cuadrante B.....	132
Tabla 16. Concentración de Mercurio en el cuadrante C.....	133
Tabla 17. Concentración de Mercurio en el cuadrante D.....	133
Tabla 18. Obtención de la concentración de Mercurio de muestras de Vegetación por cuadrante tanto en época de lluvias como de seca .....	134
Tabla 19. Concentración de Mercurio en el suelo en época de Lluvia y Secas.....	135
Tabla 20. Obtención de la capacidad de adsorción mediante la fórmula de Lagmuir de muestra de suelo por cuadrante tanto en época de lluvias como de seca.....	144
Tabla 21. Concentración promedio de mercurio por distancia en época seca. (ANOVA).....	145
Tabla 22. Concentración promedio de mercurio por distancia en época lluvia. (ANOVA).....	145
Tabla 23. Correlación concentración promedio de mercurio y características físico químicas .....	150
Tabla 24. Características físico-químicas y Mercurio en las plantas.....	151
Tabla 25. Concentración de Mercurio en Vegetación en época de Lluvia .....	152
Tabla 26. Concentración de Mercurio en vegetación en época de seca .	152

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo Biogeoquímico del Mercurio .....	22
Ilustración 2. Ciclo del Hg en la biosfera y fenómenos de especiación ....	22
Ilustración 3. Especiación del Hg (II) en función del pH y concentración de Cl.....	30
Ilustración 4. Retención del mercurio en diferentes componentes del suelo.....	32
Ilustración 5. Estabilidad del mercurio según Eh-pH.....	34
Ilustración 6. Mecanismos Básicos de Toxicidad .....	36
Ilustración 7. Diagrama de flujo de Absorción Atómica .....	42
Ilustración 8. Mapa de Distribución de la zona de estudio .....	53
Ilustración 9. Mapa de la extensión total del area devastada por la minería ilegal en el sector de Laberinto.....	54
Ilustración 10. Ubicación de puntos de muestreo.....	56
Ilustración 11. Mapa Hidrológico de Madre de Dios.....	58
Ilustración 12. Climatodiagrama de la Estación de Puerto Maldonado– Laberinto - Puerto Maldonado.....	60
Ilustración 13. Climatodiagrama de la Estación de Malinowsky – Laberinto - Puerto Maldonado.....	61
Ilustración 14. Curva de la potencia para ANOVA de un solo factor .....	67
Ilustración 15. Q-Q normal en época de lluvias.....	76
Ilustración 16. Q-Q normal en época de secas.....	76
Ilustración 17. Concentración de Mercurio del cuadrante A .....	78
Ilustración 18. Concentración de Mercurio en el cuadrante B .....	78
Ilustración 19. Concentración de Mercurio en el cuadrante C .....	79
Ilustración 20. Concentración de Mercurio en el cuadrante D .....	80
Ilustración 21. Concentración de mercurio en cada punto de muestreo de suelo en época de lluvia y secas .....	82
Ilustración 22. Capacidad de adsorción de Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera .....	85
Ilustración 23. Concentración de Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera. ....	87
Ilustración 24. Mercurio en las plantas y mercurio en el suelo.....	94
Ilustración 25. Informe Interno de Análisis de Mercurio .....	123
Ilustración 26. Resultado de concentración de Mercurio por adsorción atómica en suelo en época de Lluvias (diciembre del 2020).....	124
Ilustración 27. Resultado de la concentración de Mercurio por adsorción atómica en muestras de Vegetación en época de Lluvias (diciembre del 2020) .....	127
Ilustración 28. Resultado de la concentración de Mercurio por análisis de adsorción atómica en muestras de suelo en época de secas (octubre del 2021) .....	128
Ilustración 29. Resultado de concentración de Mercurio por medio de análisis de adsorción atómica en muestras vegetales en época de secas (octubre 2021).....	131
Ilustración 30. Gráfica de B.E.T.....	136
Ilustración 31. Gráfica de Langmuir .....	137
Ilustración 32. Gráfica de Langmuir en forma lineal .....	138

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme realizar este proyecto de Investigación, a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, al Vicerrectorado de Investigación, a la Dirección de Gestión de la Investigación y Proyecto YACHAYNINCHIS WIÑARINAMPAQ por el financiamiento del trabajo de tesis de post grado, a toda la plana de docentes de la Escuela Profesional de Biología y diferentes docentes que con su conocimiento y experiencia nos formaron como maestrandos en Ecología y Gestión Ambiental.

A mi asesora la Magister Violeta Zamalloa Acurio, por el asesoramiento y el apoyo en la realización de este trabajo de investigación, así como en la rectitud de su profesión como docente, por sus consejos que me forma como investigadora y sobre todo por su amistad.

A mi querido padre que se encuentra en el cielo y me brinda su protección, a mi querida madre que siempre vela por mi bien y me da fuerzas para seguir adelante a pesar de todos los obstáculos que se presentan, a mi hermana por el apoyo indirecto en el trabajo de investigación que sin ella no se hubiera podido realizar y a mi pequeña sobrina que me saca siempre una sonrisa y de la cual soy su ejemplo.

A todas las personas que me alentaron durante el desarrollo y culminación del presente trabajo

## RESUMEN

El trabajo de investigación Distribución y Adsorción de mercurio en minería abandonada en el sector de Laberinto – Tambopata – Puerto Maldonado. Tuvo como objetivo principal, determinar la distribución y la capacidad de adsorción del mercurio en el suelo. Los objetivos secundarios determinaron si las características físico químicas del suelo influyen en la capacidad de adsorción del mercurio en el suelo y si hay un ingreso de mercurio en la vegetación.

Se estudio un área de 20 Km<sup>2</sup>, monitorizándose dos épocas del año (secas y lluvias); se aplicó la Guía para el muestro de suelos del Minam (2014), con el muestreo en forma de Rejilla Circular, obteniendo 4 Cuadrantes (A, B, C y D) cada uno con 8 sectores, extrayendo un total de 33 muestras de suelo; para las muestras físico químicas se obtuvo un total de 17 muestras de suelo. Las muestras vegetales fueron muestreadas según la Guía de Inventario de flora y vegetación del MINAM (2015), obteniendo un total de 11 muestras en época de lluvias y 10 muestras en época de secas. La concentración de mercurio en muestras de suelo y vegetación, fue analizada en laboratorio, por medio del análisis de Adsorción Atómica; y, la capacidad de adsorción, fue obtenida por la fórmula de la Isoterma de Langmuir.

Obteniendo que, al evaluar la distribución y capacidad de adsorción de mercurio en el suelo impactado por la actividad minera, no existe una distribución homogénea de la concentración de mercurio, la concentración de mercurio en el suelo no excede los Límites Máximos Permisibles por el Ministerio del Ambiente, pero si del Programa de Naciones Unidas (PNUMA). La capacidad de adsorción de mercurio, disminuye a medida que aumenta la concentración de mercurio de manera proporcional. Las características físico químicas, intervienen en la capacidad de adsorción y distribución del mercurio; como también, en el ingreso del mercurio en las plantas. Existe 7 familias representativas de vegetación, donde la concentración de Mercurio excede los niveles máximos permitidos según la Comisión de la Unión Europea por el Reglamento (UE) 2018/73.

**Palabras Clave:** Mercurio, suelo, vegetación, concentración.

## SUMMARY

The research work Distribution and Adsorption of mercury in abandoned mining in the Laberinto – Tambopata – Puerto Maldonado sector. Its main objective was to determine the distribution and adsorption capacity of mercury in the soil. The secondary objectives determined if the physical chemical characteristics of the soil influence the adsorption capacity of mercury in the soil and if there is mercury ingress.

An area of 20 Km<sup>2</sup> was studied, monitoring in two seasons of the year (dry and rainy); The Minam Soil Sampling Guide (2014) was applied, with sampling in the form of a Circular Grid, obtaining 4 Quadrants (A, B, C and D), each with 8 sectors, extracting a total of 33 soil samples; for the Physical-chemical samples, a total of 17 soil samples were obtained. The plant samples were sampled according to the Minam Flora and Vegetation Inventory Guide (2015), obtaining a total of 11 samples in the rainy season and 10 samples in the dry season. The concentration of mercury in soil and vegetation samples was analyzed in the laboratory, through Atomic Adsorption analysis; and, the Adsorption Capacity was obtained by the Langmuir Isotherm Formula.

Obtaining that, when evaluating the distribution and adsorption capacity of mercury in the soil impacted by the Mining activity, there is not homogeneous distribution of the concentration of mercury, the concentration of mercury in the soil does not exceed the Maximum Permissible Limits by the Ministry of Environment, but yes from the Program of Nation Unit (PNUMA) . The adsorption capacity of mercury decreases as the concentration of mercury increases proportionally. The physical-chemical characteristics intervene in the adsorption capacity and distribution of mercury; as well as the entry of mercury into plants. There are 7 representative families of vegetation, where the concentration of mercury exceeds the maximum levels allowed according to the Commission of the European Union by Regulation (EU) 2018/73.

**Keywords:** Mercury, soil, vegetation, concentration.



## INTRODUCCION

La extracción de oro, es una actividad que produce problemas sociales, daña la salud de la población, y genera problemas económicos al país, sobre todo contamina a grandes escalas el ecosistema; no solo por la contaminación de los metales pesados, sino también por la devastación, tala indiscriminada y pérdida del hábitat natural de muchos organismos, perdiendo la riqueza genética que tiene nuestra selva peruana.

La minería de extracción de oro en nuestro país, es un problema tangente que genera contaminación en el ecosistema, como también en la salud de la población; la minería de oro, genera ingresos a la población de Puerto Maldonado, siendo la principal actividad de ingresos en esta Región. Sin embargo, la falta de aplicación de normativas y gestión de la autoridad en temas de sensibilización y capacitación, sobre los daños que genera el ingreso de metales pesados en el ecosistema, trae consigo una contaminación en exorbitantes cantidades, generando la entrada de estos metales pesados en la cadena trófica, presentando así, la biomagnificación y biocumulación de estos metales en los organismos, los residuos de dichas actividades mineras, origina una alta contaminación, tanto en el ecosistema, como en la salud de las personas que radican en la zona y cerca a dichas áreas de extracción, generando problemas graves de salud de la población. (Wang, L. K. et al., 2009).

El mercurio es un elemento no esencial, tóxico para los organismos, es un metal pesado por su alta densidad y tóxico en pequeñas cantidades, afecta el sistema nervioso, produciendo daños graves en el desarrollo del feto en el embarazo. No puede ser destruido o degradado, debido a su forma natural, ya que no tienen funciones metabólicas específicas en los seres vivos (Abollino et al., 2002). Dicho metal entra en la cadena trófica, por ser el principal elemento, que se utiliza en la amalgama para la extracción del oro, el cual al ser fundido conjuntamente con el oro, genera vapores que ingresan en la atmósfera y al medio ambiente, y, por falta de bioseguridad al realizar este proceso, ocurre la exposición al vapor del mercurio metálico, ingresando en el organismo de los mineros.

Este se incorpora a la columna de agua, en un aproximado de un 45% de este mercurio, y es transformado, por los microorganismos en metil mercurio (MeHg), El 55% del mercurio ingresa en la atmósfera, en forma de etil mercurio, quedando latente hasta por 24 meses en zonas secas, este llega a precipitar relativamente rápido, en aquellas regiones con altos niveles de pluviosidad (Veiga et al. 1995). Llegando así al suelo, ingresando de esta manera al ecosistema.

Al ingresar el mercurio, en los ecosistemas terrestres y acuáticos, se transforman por procesos biogeoquímicos, y distribuyéndose entre varias especies, con distintas características físico-químicas, este proceso se da, por medio de dos vías: metabolismo microbiano (proceso biótico), el cual transfiere el ion metilo (CH<sub>3</sub>-), por acción de las bacterias sulfato reductoras, y una metilación química (proceso abiótico) (Mahbub et al., 2017). Ya en el suelo, dichos metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, o se movilizarse en la solución del suelo por medio de diferentes mecanismos químicos y biológicos (Pagnanelli et al., 2004). El mercurio incorporado en los suelos, se redistribuye y reparte entre los componentes de la fase sólida del suelo de manera lenta. Se caracteriza, por una rápida retención inicial y con posteriores reacciones lenta; la cual depende de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han et al., 2003).

En las plantas, la adsorción del mercurio, es el primer paso de ingreso del metal en la cadena alimenticia. La adsorción y consiguiente acumulación, dependen primordialmente, de la movilidad de los metales, que se encuentran como solución en el suelo, para pasar por la raíz de la planta. Las plantas absorben los metales del suelo, dependiendo del tipo de especie vegetal y características de este, cada una en diferente grado y de la cantidad de metales existentes en el suelo. Las plantas adoptan distintas estrategias, cuando ocurre el ingreso de metales en su entorno (Baker, 1981; Barceló et al., 2003).

Al ingresar mercurio en la dieta de la población, sea de forma directa o indirecta por la actividad minera. Los compuestos organomercuriales, son absorbidos fácilmente, siendo potencialmente neurotóxicos, el 90 % del metilmercurio es absorbido por el tracto gastrointestinal y transportado por la sangre; el nivel de

máximo permisible de mercurio en la sangre según la OMS, como referencia internacional en la salud humana, es de (0.3 ppm).

El estudio, se basa en la minería de extracción de oro, donde el principal metal usado es el mercurio, por lo que dicho trabajo de investigación estudió la distribución del mercurio después de haber ingresado este al medio ambiente. Se realizó con la finalidad de, evaluar la distribución y capacidad de adsorción de mercurio en el suelo impactado por la actividad dejada por la minería en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, en la concesión minera de “PROYECTO KIARA Y GRECIA”, como también determinó, las características físicas y químicas del suelo, estimando la acumulación del mercurio en el suelo en el área de estudio, obtuvo la cantidad de mercurio que ingresó en las especies vegetales de mayor representatividad en el área de estudio.

La metodología empleada para la recolección y determinación de los puntos de muestreo fue obtenido por medio de la guía para el muestreo del suelos del MINAM (2014), para las muestras de suelo, y, para las muestras de vegetación se utilizó la metodología de la guía de inventario de flora y vegetación, MINAM, (2015), en una extensión de 20 km<sup>2</sup>; tomados en dos épocas diferentes del año (época de lluvias y épocas de secas), los cuales fueron analizados en laboratorio para el determinar la cantidad de mercurio, obteniendo su capacidad de adsorción, como la expansión que presentó dicho elemento pesado, en el área de la minería abandonada, así como el ingreso de mercurio en la vegetación del ecosistema selvático de Puerto Maldonado.

La obtención de los datos, nos permitió visualizar la extensión que tiene la contaminación del mercurio en el suelo, y, la entrada de mercurio en la vegetación del ecosistema, del área de estudio, esta información brinda datos importantes para ser usados en diferentes tecnologías para su extracción y posible descontaminación del ecosistema propiciando su futura recuperación.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 SITUACION PROBLEMÁTICA

El metal pesado, mercurio, es un elemento muy peligroso debido a que al ingresar al medio ambiente, por diferentes acciones antrópicas especialmente la actividad minera, este elemento tiende a contaminar los diferentes ecosistemas especialmente los cuerpos de agua y el suelo, llegando a los organismos por medio de la cadena trófica, produce una bioacumulación y biomagnificación del metal, debido a la exposición constante de este elemento, teniendo como resultados diferentes enfermedades e inclusive la muerte.

La extracción de oro es un problema muy grave en nuestro país, siendo esta actividad fuente de ingreso de muchas familias peruana, las que, arriesgan su salud e integridad, por falta de información, falta de prevención en las medidas de bioseguridad durante la extracción del oro, donde utilizan el mercurio para el proceso de amalgamación, que es el proceso de aleación del mercurio con otros metales, para poder extraer el metal oro; contaminando así, las fuentes de agua, suelo y aire; al entrar en contacto directo o indirecto con dicho elemento, este es muy toxico para la salud y para el ambiente en general.

Después de terminar con la extracción del metal oro, queda una devastación en la zona de extracción, el cual es muy difícil de recuperar debido a los daños que se presenta, tanto por el aumento de metales pesados en el suelo y agua; la regeneración de la vida es reducida ya que no todos los organismos están adaptados a vivir a altas concentraciones de dicho metal. Por lo que se realiza las siguientes interrogantes:

## **1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA**

### **a. PROBLEMA GENERAL**

- ¿Cuál es el nivel de contaminación del suelo por mercurio y su capacidad de adsorción en el ámbito de operaciones mineras auríferas en la zona de Laberinto - Tambopata – Madre de Dios?

### **b. PROBLEMA ESPECIFICO**

- ¿Cómo está distribuido el mercurio y cuál es su capacidad de adsorción en el suelo del área de estudio?
- ¿Cómo las características físico y químicas del suelo influye en la concentración del mercurio en el suelo en la zona de estudio?
- ¿Podrá la vegetación existente en el área impacta por la minería, estar contaminada con mercurio?
- ¿Podrá existir una relación de las características físico químicas y la concentración de mercurio en la vegetación?

### **1.3 JUSTIFICACION**

La actividad que se realiza en la minería de la Localidad de Laberinto - Tambopata – Madre de Dios, deja como resultado un ambiente contaminado, sin organismos vivos, con el suelo infértil y agua contaminada; por lo que la recuperación de dichos recursos es un trabajo muy complejo debido a que la contaminación por metales pesados, hace lenta y difícil su restauración.

Todo el ecosistema queda contaminado por dicho metal, donde no se sabe la extensión real de contaminación que el mercurio llega a abarcar a lo largo de un ecosistema, ni el proceso de adsorción que se realiza en el suelo por la materia orgánica y los diferentes procesos físicos y químicos que suceden en este, ayudando a la auto depuración del ecosistema para que este pueda recuperarse.

Por tanto, el presente trabajo de investigación dará a conocer la distribución de la contaminación producida por el metal mercurio en el sector de Laberinto, en la concesión minera de “PROYECTO KIARA Y GRECIA”, el proceso de adsorción del mercurio en el suelo y el ingreso de mercurio en los vegetales presentes en el ecosistema. Obteniendo información relevante del grado de contaminación que produce la actividad minera tanto en el suelo como en la vegetación del área de estudio. Dichos resultados podrán ser utilizados para que las autoridades de la Región de Madre de Dios, tomen noción del grado de devastación y contaminación en el ecosistema, para poder así, tomar decisiones y generar normativas del uso adecuado del mercurio en la minería, evitando así la contaminación al ecosistema y a la salud de la población de la Región.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el nivel de contaminación en el suelo por mercurio y su capacidad de adsorción producido por las operaciones de mineras auríferas en dos épocas del año en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios.

### **1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- Determinar la distribución, la concentración y la capacidad de adsorción del Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera en un rango de 20 km<sup>2</sup> dentro del área directa de influencia.
- Relacionar las características físicas y químicas con la concentración del Mercurio del suelo en el área de estudio.
- Determinar la concentración de mercurio en las plantas en el área de estudio.
- Relacionar las características físico químicas del suelo con la concentración de mercurio en la vegetación en el área de estudio.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO CONCEPTUAL**

#### **2.1 BASES TEORICAS**

##### **2.1.1 MINERIA AURIFERA EN PUERTO MALDONADO**

La minería en el Perú, es considerada una actividad de relevancia en la economía del país, emplea alrededor del 1% de la población económicamente activa (PEA). El departamento de Madre de Dios (MDD), representa en total del 6,6 % del territorio nacional, con una superficie de 85 300,54 km, dicho departamento, cuenta con tres grandes provincias: Tambopata, Manu y Tahuamanu. La actividad económica con mayor importancia en la Región, es la minería aurífera aluvial, la que inicia sus actividades desde los años 30, esta fue aumentando exponencialmente, creciendo durante las siguientes décadas; esta actividad, presenta, cuencas y las subcuencas de los principales ríos de Madre de Dios, como son, Inambari, Colorado, Tambopata y Malinowski. Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2012).

La constante degradación, como la contaminación de los recursos naturales, tanto del suelo como del agua, viene a ser un problema de gran magnitud. Los impactos que presentan, el mayor grado de relevancia, destacan la contaminación por metales pesados, debido, a que presenta una difícil restauración del ecosistema, por ser lento dicho proceso. El mercurio, es el metal pesado con mayor toxicidad; siendo considerado un contaminante a escala global. (I. López-Tejedor; M. J. Sierra; J. Rodríguez; R. Millán., 2010).

Al principio, los primeros mineros explotaban los yacimientos auríferos, en los suelos aluviales por medio de procedimientos manuales artesanales, como era el uso de lampas, canaletas y bateas. Con el paso del tiempo, esta actividad fue evolucionado, afinando la tecnología de extracción del metal preciado; llegando a aumentar los volúmenes de extracción de oro, el cual aumentó la degradación del medio ambiente por contaminación, tanto del mercurio como de



hidrocarburos y otros desechos que son utilizados en dicha actividad; con esto se incrementó, los problemas de deforestación masiva, compactación del suelo, etc. En la actualidad, los mineros informales como formales, utilizan equipos de maquinaria pesada, como dragas, arrastre y carrancheras para la movilización de suelo al extraer oro. En los sectores que presentan terrazas aluviales, inician con el proceso de tala del bosque, para luego, utilizar la “chupadera”, para el movimiento de tierras, utilizan camiones y cargadores frontales o los llamados “shute”, operan alrededor de 500 maquinarias aproximadamente según estudios (Pautrat, 2001)

La minería actualmente, se ha extendido inclusive, en los tributarios de los grandes ríos aguas abajo como aguas arriba, llegando, a alarmar a las autoridades por el ingreso, incluso, en nacientes de los ríos, invadiendo lugares protegidos (De Echave et al., 2009). El gobierno de Madre de Dios, no presenta un control sobre dicha actividad, debido a que el 99% de minerías, son las denominadas informales y estas laboran por medio de un solo petitorio o inclusive sin documentación, sin control, ni regulación por parte del Estado, estas, no presentan permisos del sector minero, ni cuentan con estudios de evaluación de impacto ambiental (De Echave et al., 2009).

Según estudio realizados por el Ministerio del Ambiente, indica que ingresa diariamente, más 50 cisternas de combustibles, en los sectores donde se realiza la minería informal, utilizan más de 175 000 galones de diésel como de gasolina, derramándose aproximadamente un total de 1 500 litros de aceites provenientes de las máquinas y embarcaciones. También, las actividades realizadas de los mineros informales, provocan situaciones incontroladas de ingobernabilidad en la Región, llegando a incrementar, los problemas sociales de manera alarmante (Brack Egg et al., 2011).

Según estudios; se han liberado un total de 400 toneladas de mercurio en el medio ambiente, depositándose, en los lechos de los cauces de ríos y riachuelos al finalizar la actividad; sufre procesos de metilación, el agua contaminada generando el ingreso de contaminantes en la cadena trófica alimenticia, especialmente de los peces, debido a que estos dependen de las fuentes de agua, los que llegan a formar parte, de la dieta humana de las poblaciones de la

Región. Esta situación es la misma, en todo aquel lugar, donde existen zonas de minería informal e ilegal en la extracción de oro debido al uso del mercurio.

La minería informal, trae consigo movimientos irracionales desordenados, generalmente de pobladores de las zonas alto andinas, los que se suman a los mineros informales ya existentes en este Departamento; incrementando la contaminación y destrucción del medio ambiente, tanto por la deforestación de los bosques, erosión de los suelos, liberando los elementos pesados en las fuentes hídricas como es el caso del mercurio. Ingresan estos metales en las cadenas tróficas alimentarias, por falta de bioseguridad en la extracción del metal, el cual llega al organismo humano como compuestos tóxicos y venenosos; otros problemas de suma importancia, son los problemas sociales, como son la prostitución asociada a trata de personas, incrementando las enfermedades de transmisión sexual; también se genera, la apertura de entradas de enfermedades metaxénicas por medio de transmisión de vectores como es el caso del dengue, malaria y leishmaniasis; incrementa el riesgo en la diseminación de la tuberculosis, aumenta la violencia social y familiar, así como los accidentes laborales que no son informados.

### **TIPOS DE EXPLOTACION MINERA**

- **ARTESANAL.** - Este método utiliza, un total de 5 personas, que llegan a movilizar alrededor de 10m<sup>3</sup> por día, tanto de suelo como de grava; para lo cual utilizan palas, carretillas, picos, canaleta y/o tolva y motobombas, que van desde 5 HP de fuerza hasta los 16 HP. En los sectores de la parte alta, utilizan las cantoneras y/o cochazos, que derriban el material cerca de las orillas de los ríos; en la actualidad, ya no se utiliza con frecuencia las canaletas de madera, debido al uso de empedrados para el lavado del material. La minería artesanal se basa, en producir la mayor cantidad de oro en el menor tiempo posible.
  
- **MECANIZADA.** - en la minería mecanizada, utiliza equipos, que movilizan el suelo por medio de tractores, los que realizan las labores de limpieza del terreno, desbroce y preparan el material para el lavado; este

es cargado y acarreado en tolvas de concentración gravimétrica, el que es llenado por un cargador frontal, que conjuntamente se combina con el uso de volquetes. Este tipo de explotación, se encuentra de sobremanera en el sector de Huepetuhe y Caychihue, debido a que, el terreno presenta terrazas en su geografía, llegando hasta 20 m de espesor.

### **2.1.2 MERCURIO**

El mercurio, es un metal denominado pesado, con un color blanquesino plateado, denso debido a que se funde a  $-38.9^{\circ}\text{C}$ . Presenta una concentración media de  $0.08 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , existente en la superficie terrestre. Su compuesto más frecuente, es el cinabrio (HgS). Las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, contienen mercurio en diferentes concentraciones, las que superan el 0.25, 0.40 y  $3.25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Wang, L. K. et al, 2009). Según la resolución del ministerio del Ambiente, los Límites Máximos Permisibles de metales pesados para suelos agrícolas, tiene como máximo permisible  $6.6 \text{ mg/kg}$  de mercurio, para aquellos suelos denominados residenciales y/o parques con  $6.6 \text{ mg/kg}$  y para suelos extractivos, industriales y/o comerciales con  $24 \text{ mg/kg}$  (EPA 7471, EPA 6020, MINAM 2017). Se tomo en consideración, la normativa del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), donde el Limite maximo permisible de metales pesados en suelo es de  $1.4 \text{ mg/kg}$  para el mercurio.

Se considera al mercurio, como un elemento toxico global, que genera diferentes efectos adversos sobre la salud humana. El mercurio ingresa en el medio ambiente, por diferentes formas, tanto por medio de fuentes naturales como antropogénicas. La minería aurífera, emite grandes cantidades de mercurio en el medio ambiente en países en vía de desarrollo. Las diferentes formas de este metal, son consideradas como tóxicas, llegando a producir la muerte a concentraciones elevadas. Tanto en su forma elemental, como en sus especies orgánicas e inorgánicas, los compuestos mercuriales se bioacumulan y persisten en el organismo; por lo tanto, es altamente toxico, para la salud humana y la calidad ambiental, debido a que este ingresa en vegetales, microbiota y por ende a la cadena trófica, ingresando en los organismos de los animales y finalmente en la dieta del hombre. (H M. Pérez-Vargas, J V. Vidal y J L. Marrugo, 2014)

El mercurio nativo, presente en las cadenas tróficas, está presente como en dos especies químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, con diferentes características y estructuras toxicas. En las formas inorgánicas el mercurio, se encuentra en estado fundamental ( $Hg^0$ ), así como, óxido de mercurio  $HgO$ , y dos especies iónicas, catión mercúrico  $Hg^{2+}$  y el catión mercurioso  $Hg_2^{2+}$ ; en la forma orgánica, el mercurio se encuentra de tres formas: dimetil mercurio  $(CH_3)_2Hg$ , iones de metil mercurio  $CH_3Hg^+$  y fenil mercurio  $C_6H_5Hg^+$ . La densidad del mercurio es de  $13.6 \text{ g/cm}^3$ . (Ramos P. S y Teran B. A, 2012)

En mercurio al ingresar en fuentes hídricas, aparecen de forma hidratada o complejada, con cloruro, sulfuro, hidróxido o también unida con materia orgánica disuelta (Leopold, K. et al., 2010; Wang, Q. et al., 2004). La forma orgánica del mercurio, se presenta principalmente como monometil mercurio, siendo la forma más nociva para la salud humana (Merian, E. and Clarkson, T. W., 1991; Wase, J. and Forster, C. F., 1997). La biomagnificación en los organismos y en la cadena trófica, es relacionada a su toxicidad ya que esta está por encima de  $10^6$ , como también por su disponibilidad para la liposolubilidad (Gao, Y. et al., 2012).

La permanencia del mercurio en fuentes aéreas, tiene un periodo relativamente corto, debido a que es eliminado por deposición, por su solubilidad alta y su actividad superficial en el agua. El compuesto  $Hg_2Cl_2$  es la especie más soluble en agua, siendo el más toxico. El mercurio inorgánico, se presenta principalmente como  $Hg^{1+}$  en suelos y sedimentos, debido a la baja solubilidad que presenta. El  $Hg^{2+}$ , es el compuesto que al presentar biometilación por los microorganismos, forma el monometilmercurio y dimetilmercurio. Estas transformaciones químicas, son reversibles por el proceso de desmetilación, el que es inducido por los microorganismos y/o descomposición fotolítica. (Wang, L. K. et al., 2009).

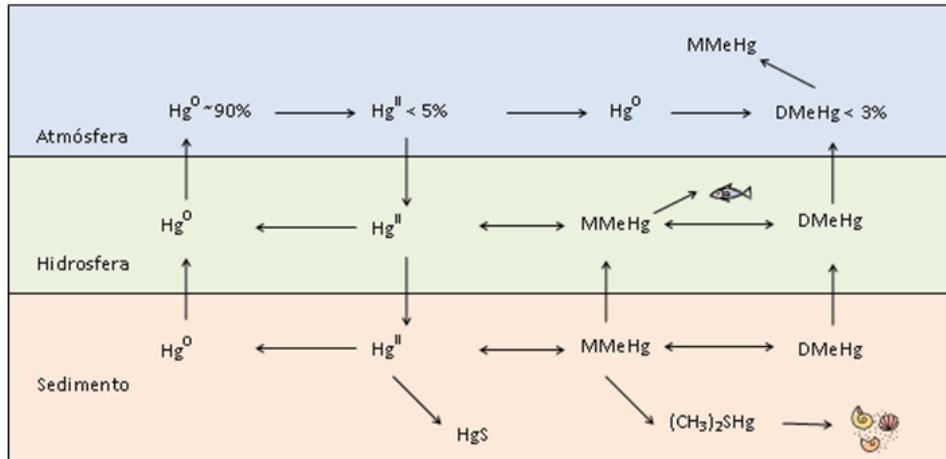
El mercurio en compuestos orgánicos, presenta diferentes estructuras, donde, está unido al carbono por medio de los enlaces covalentes. En este grupo, se tiene los compuestos de alquimercurio, arilmercurio y alcoxilalquimercurio. Estos compuestos, forman sales con los cationes de mercurio orgánico, con ácidos

tanto orgánico e inorgánico, los que reaccionan de forma rápida con ligandos biológicos, generalmente, con los grupos sulfhidrilos, generando que estos ingresen de forma sencilla por medio de las membranas biológicas. El dialquilmmercurio, es el compuesto más liposoluble, y uno de los más resistentes a la biodegradación, a diferencia de los compuestos de arilmercurio o alcoximmercurio. (Leopold, K. et al., 2010).

### ***Ciclo Biogeoquímico***

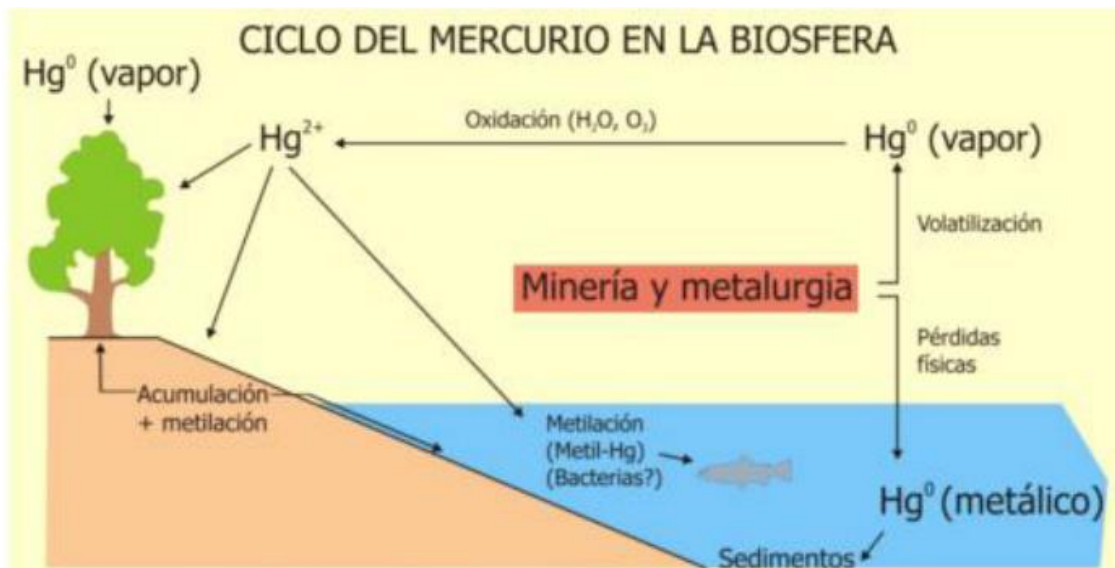
Al erosionarse las rocas, produce la liberación de partículas al medio ambiente que contienen mercurio. Este ingresa, a fuentes de aguas superficiales y subterráneas, llegando al final a los océanos. En los procesos, tanto terrestres como oceánicas, existe procesos de desgasificación y volatilización del mercurio, donde ingresan de esta manera a la atmósfera. El ciclo biogeoquímico del mercurio, tiene una fase atmosférica predominante. El mercurio existente en la atmosfera, se debe a las emisiones de gases naturales, siendo estas un total de los dos tercios de la emisión, y las liberaciones de las actividades antropogénicas un tercio del total (Berlín, 1986; Burg y Greenwood; 1991). Estudios recientes indican, que aproximadamente un total del 40 y 75% del mercurio atmosférico, es producido por actividades antropogénicas (Gaona, 2004). Estas proceden, principalmente de la industria metalúrgica, incineración de residuos, explotación minera, combustión del carbón, y las plantas cloro-álcali.

Cuando el mercurio se encuentra en el aire, esta se moviliza largas distancias, transformándose en el trayecto, por procesos de foto-oxidación con los compuestos solubles presentes en el aire, para después precipitar, entrando de esta forma a la biosfera. También, existe una deposición seca de partículas con mercurio y mercurio gaseoso sobre la vegetación y los suelos.



**Ilustración 1. Ciclo Biogeoquímico del Mercurio**

Fuente: Ciclo Biogeoquímico del Mercurio, Allard, B. and Arsenie, I., 1991



**Ilustración 2. Ciclo del Hg en la biosfera y fenómenos de especiación**

Fuente: Ciclo del Hg en la biosfera y fenómenos de especiación. I. López-Tejedor; M. J. Sierra; J. Rodríguez; R. Millán., 2010.

### **Reducción del Mercurio**

Los procesos de reducción del mercurio en disolución, son considerados importantes; ya que, de forma natural la reducción de  $Hg^{2+}$  a  $Hg^0$ , se inicia principalmente, por los microorganismos presentes en procesos de fotólisis directa, o por medio de las sustancias húmicas. La reducción fotoquímica es un proceso, que presenta oxígeno en las aguas, o es realizado por medio de

microorganismos y partículas minerales presentes en medios anóxicos (Zheng, W. et al., 2012).

La materia orgánica disuelta que se está presente en el medio acuático, tiende a enlazar con fuerza a dichos metales, llegando a modificar su especiación, solubilidad, movilidad, toxicidad e interacción, de maneras diferentes, alterando su transformación, su transporte, y biodisponibilidad.

Los metales traza conjuntamente con el mercurio, se enlazan a grupos ácidos que se encuentran presentes en la materia orgánica; siendo los compuestos más comunes, los ácidos carboxílicos, como los fenoles. Pequeñas fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos, presentes en la materia orgánica, reducen el mercurio iónico en mercurio metálico. (Ravichandran, M., 2004).

En las sustancias húmicas, los grupos sulfuro forma complejos generalmente estables con el mercurio. Su especiación del mercurio en aguas naturales, está conducida por complejos Hg-ácidos húmicos (Allard, B. and Arsenie, I., 1991).

### ***Fuentes del Mercurio***

El mercurio ingresa en el medioambiente, por medio de diferentes fuentes, donde al acumularse dicho metal se presenta el efecto toxico. Estas fuentes, son naturales, antropogénicas y reemisiones.

La desgasificación de depósitos minerales que contienen mercurio, son la principal fuente de emisiones naturales, como es, la desgasificación en los sistemas acuáticos y terrestres contaminados, las emisiones volcánicas y las quemadas forestales. La emisión antropogénica, es realizada por los procesos pirometalúrgicos, quema de restos sólidos, producción de plata y oro; donde la mayor fuente de emisión, es la combustión de carbón y aceite. (Wang, Q. et al., 2004).

- Depositiones atmosféricas. El mercurio presente en estado gaseoso, se queda en la atmósfera por su alto grado de volatilidad, aproximadamente un año. La otra parte forma de las partículas atmosféricas.

- Fuentes derivadas de la erosión: La erosión natural, como la erosión antropogénica, genera la contaminación en depósitos acuáticos que están próximos a suelos contaminados, donde se realiza la erosión.
- Fuentes urbanas. Las actividades humanas, alteran el ciclo biogeoquímico del mercurio.
- Fuentes agrícolas. Se encuentra en pesticidas y fungicidas, los cuales fueron prohibidos, debido a la contaminación que produjo; estos fueron usados durante un largo periodo de tiempo, llegando a persistir dicho metal en el medioambiente en la actualidad.
- Fuentes mineras. Como son las minas de oro, plata, mercurio y plomo.
- Procesos industriales y combustión. Esta ingresa en la atmósfera, por la combustión de este metal, ingresando en la superficie terrestre y en las fuentes hídricas; esta llega a permanecer en la atmósfera e ingresa en el ciclo del metal. (Merian, E. and Clarkson, T. W., 1991).

### ***Perdida del mercurio***

La pérdida de mercurio, ocurre por amalgamación, que se produce en minerías aluviales, donde utilizan las vetas y filones, que son recipientes abiertos o destapados y recipientes herméticamente cerrados. (Leopold, K. et al., 2010).

- **Amalgamación en recipientes abiertos.** Se incorpora el mercurio al material aurífero en diferentes cantidades, formando así, la amalgama de oro. Al terminar el proceso de circuito abierto de amalgama, el mercurio que fue incorporado inicialmente, presenta pérdidas, debido que, al recuperar dicho metal, este se encuentra más filtrado y en menos cantidad. El mercurio se pierde como vapor, gotas de mercurio o partículas que se queda en la amalgama, las que salen del recipiente abierto durante el procedimiento.

La mayor pérdida de mercurio, se encuentra en los circuitos abiertos, donde, se realiza primero la molienda del material aurífero y en algunos casos se amalgama simultánea, perdiendo grandes cantidades del metal. Se trata de recuperar el mercurio, por medio de trampas o planchas de amalgamación, las



cuales no son suficientes, quedando colas con oro libre, mercurio libre y amalgama, perdiéndose según estudios, alrededor de 5 y 10 kg de mercurio y llegando hasta 25 kg, para obtener 1 kg de oro. (Leopold, K. et al., 2010).

Al mejorar los procesos de obtención de oro por concentración gravimétrica, evita las pérdidas y la contaminación con mercurio por colas para amalgamación.

- **Eliminación del mercurio cansado.** El mercurio que es recuperado, que fue usado varias veces en la amalgamación de oro, llega a contaminarse, perdiendo su capacidad de amalgamación. A lo que denominan los mineros, como mercurio cansado; al no ser efectivo dicho metal, es desechado, incluso sabiendo que esta sustancia, es muy cara y difícil de conseguir.
- **Colas de amalgamación.** Las colas de amalgamación contienen oro, mercurio, y amalgama, en diferentes cantidades. Las que deberían ser depositadas apropiadamente, para poder realizar una limpieza adecuada. Estas colas pueden ser vendidas a plantas de lixiviación, por lo que es necesario, instalar depósitos temporales, los que son piscinas simples o tolvas de hormigón, que pueden estar techadas y ventiladas, donde son almacenadas las colas en forma de pilas en sacos, hasta poder ser transportadas a una planta de lixiviación. (Leopold, K. et al., 2010).

### 2.1.3. ACCION TOXICA

Es el ingreso de una sustancia tóxica, el cual produce un efecto toxico dentro de un organismo, desde el medio ambiente, se puede dividirse en tres fases:

1. La fase de exposición, son los procesos que generan los elementos tóxicos, con influencia de los factores ambientales y/o climáticos como son, temperatura, luz, humedad, etc. Estos elementos tóxicos, sufren modificaciones químicas, son biodegradados por microorganismos, desintegrados y degradados.
2. La fase toxicocinética, consiste en la absorción de los elementos denominados tóxicos dentro del organismo, iniciando por el transporte del metal por medio de los fluidos corporales, distribuyéndose y acumulándose en tejidos y órganos

específicos, biotransformándose en diferentes metabolitos para finalmente ser eliminados (excreción).

3. La fase toxicodinámica, consiste en la interacción de los tóxicos (moléculas, iones, coloides), con lugares de específicos que están presentes en las células o dentro de ellas, a los que se denomina “receptores”, obteniendo así el efecto tóxico. (E. K. Silbergeld, 1998)

#### **2.1.4 TOXICOCINETICA**

La Toxicocinética, es el proceso donde, se absorbe tóxicos dentro del organismo, presentando los siguientes procesos, como es el transporte del metal por medio de los fluidos corporales, la distribución, la acumulación en tejidos y órganos específicos, biotransformación en metabolitos y eliminación del organismo (excreción) de los tóxicos y metabolitos. (E. K. Silbergeld, 1998)

Las sustancias tóxicas, atraviesan las membranas celulares en los sistemas biológicos, por medio, de un complejo sistema de membranas dentro de la célula. Estos procesos toxicocinéticos y toxicodinámicos, ocurren a nivel molecular celular. Influyen diferentes factores, los que se dividen en dos grupos:

- La composición química y la propiedad fisicoquímica de los tóxicos.
- Las propiedades de la célula, estructura, funcionabilidad de las membranas, que rodean la célula y los orgánulos internos.

Presenta cuatro procesos básicos:

- Absorción: es el ingreso de una sustancia, que se encuentra en el medio ambiente dentro del organismo. Es decir, atraviesa la barrera tisular, llegando al interior de esta, como es, en la circulación sanguínea y la circulación del xilema y/o floema.
- Transporte: Por medio de un transporte activo, llegan a ingresar diferentes sustancias tóxicas, en dicho transporte, intervienen proteínas transportadoras siendo análogos al proceso de transporte de las enzimas. El transporte activo, puede producirse en contra de un gradiente de concentración, para lo cual necesita energía, puede presentar un inhibidor

metabólico que bloquee dicho proceso. Las sustancias tóxicas, raras veces se transportan activamente.

- Distribución y acumulación en tejidos y órganos: este es un proceso dinámico, debido a que, se basa en la velocidad de absorción de la sustancia tóxica y su eliminación de esta, en las diferentes vías de excreción, como es el flujo sanguíneo en los diferentes tejidos; se tiene en cuenta la afinidad de estas vías con la sustancia.

La acumulación, es el ingreso de una sustancia en un tejido o en un órgano de manera específica, el cual, llega a niveles superiores a los de su concentración fuera de esta. Esta puede ser, acumulada de forma gradual en el tiempo.

- Transformación biológica de metabolitos, y eliminación del organismo: La biotransformación, es la transformación metabólica de compuestos extraños (xenobióticos) tóxicos, que están presentes dentro del organismo. El metabolismo transforma las sustancias xenobióticas que son liposolubles en metabolitos hidrosolubles, los que son excretados con facilidad. La eliminación de los contaminantes, es desaparecer dicha sustancia del cuerpo, excretándolo al exterior del organismo, por las diferentes vías o transformándolo en otras sustancias que no puedan ser medidas.

La excreción de un tóxico xenobiótico, depende de la ruta de ingreso, cuando este fue absorbido, el cual determinara la rapidez de eliminación de los tóxicos y de los metabolitos, para este proceso intervienen diferentes factores:

- Las propiedades físico y químicas de los tóxicos, como son el coeficiente de partición de Nernst (P), la polaridad, la constante de disociación (pKa), la estructura molecular del tóxico, la forma y el peso.
- Grado de exposición, y el lapso de tiempo desde que se produce la exposición hasta la eliminación del tóxico.
- La ruta de ingreso.

- Las estructuras y compartimentos del cuerpo en los que se hayan distribuido el elemento tóxico, debido a las diferentes velocidades de intercambio y diferentes grados de perfusión.
- La velocidad de biotransformación, de tóxicos lipófilos a metabolitos hidrófilos.
- El estado de salud en general del individuo, en especial, de los órganos excretores.
- La presencia de otras sustancias tóxicas que interfiera en la eliminación

(E. K. Silbergeld, 1998)

### **2.1.3.1 MERCURIO EN LA TOXICOCINETICA DEL SISTEMA SUELO – PLANTA**

El suelo, es un sistema dinámico, este depende, de aquellos factores que modifican su homogeneidad y condiciones en el medio ambiente. El mercurio ingresa en él, por causas naturales o antropogénicas (Moreno et ál., 2002; Gamiz et ál., 2010). Acumulándose en el suelo por medio de: 1. La meteorización natural del material natural parental, y, 2. Por la actividad antropogénica directa, como es, el vertimiento de desechos mineros, llamados jales mineros (Boussen, Soubrand, Bril, Ouerfelli & Abdeljaoud, 2013). También se deposita mercurio en el suelo, por la deposición atmosférica, la que es generada, por las emisiones provocados por el campo automotor (Blake & Goulding, 2002) e industrial (Nicholson, Smith, Alloway, Carlton & Chambers, 2003). El mercurio, fue aplicado en cultivos agrícolas por medio de los fertilizantes, fungicidas y herbicidas, los que presentaban altos contenido de As, Pb y Cu. (Alloway, 2013; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

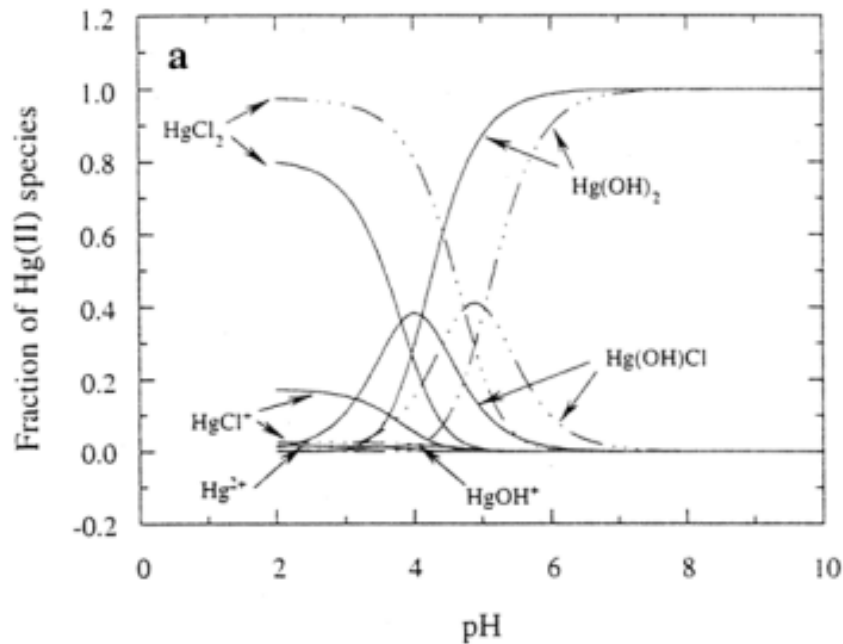
El mercurio, se encuentra presente como solución, en iones libres, complejos orgánicos e inorgánicos. Se llega a asociar con la materia orgánica, presente en suelo y con los minerales, por medio de la oclusión, adsorción, precipitación e incorporación dentro de los organismos vivos. Es importante, la especiación de los metales en el suelo, ya que afecta la composición de la materia orgánica y la fase mineral del suelo (Tandy et ál., 2004; Bigalke et ál., 2010).

Los factores que influyen, de manera significativa en el comportamiento químico del mercurio en el suelo son; el pH del suelo, la materia orgánica, el tipo y contenido de arcilla, los óxidos de Fe, Mn y Al, los carbonatos y el potencial redox del suelo. Este dependerá, de diferentes factores físico-químicos, como también de la cantidad de mercurio que se encuentre acumulado en los suelos, (Lindsay 1979, Andersson 1979, Schuster 1991, M.H.D. Pestana et al., 2003):

### ➤ **pH EN EL SUELO**

El pH de los suelos varía entre 4,0 y 8,5. Donde los cambios de pH, afectan el transporte de estos elementos, (Tandy et ál., 2004; Uchimiya et ál., 2010. Aumenta la movilidad cuando el pH es ácido (Dijkstra et ál., 2004). Las condiciones óxido reductoras en los suelos afectan el pH (Burow et ál., 2010), especialmente, en los suelos con inundaciones periódicas, las que aumentan, sus condiciones reductoras y disminuyen las oxidantes (Xu y Saiers, 2010; Woodruff y Cannon, 2010). Al aumentar el pH, aumenta con él, el número de sitios de adsorción en los minerales de arcillas, en la materia orgánica y en los óxidos amorfos; pero no necesariamente, aumenta la adsorción, con respecto a la cantidad de metales traza adsorbidos, debido a que esta depende, de otros factores de afinidad química intrínseca del elemento con el material adsorbente. (Gutiérrez-Ruiz et ál., 2005).

El pH es un factor importante, porque afecta la especiación y la estabilidad del mercurio en el suelo.



**Ilustración 3. Especiación del Hg (II) en función del pH y concentración de Cl**

Fuente: Especiación del Hg (II) en función del pH y concentración de Cl ADRIANO, D.C. (1986) Mercury. Trace elements in the territorial environments.

➤ **MATERIA ORGANICA Y MINERALES DE ARCILLA**

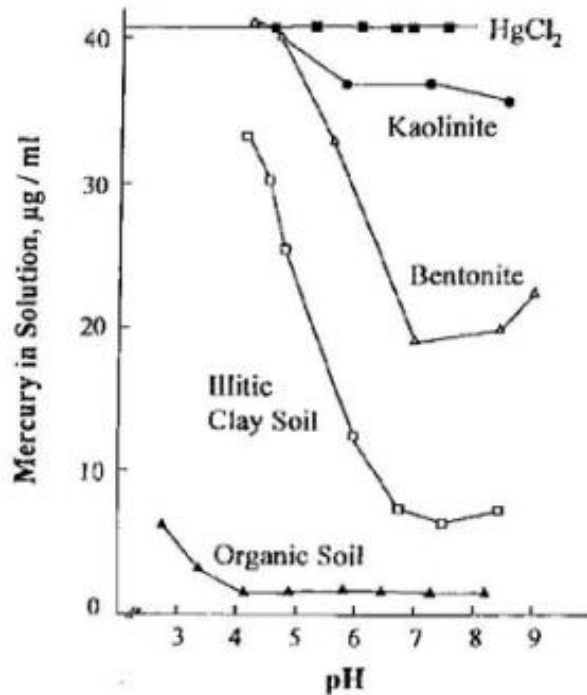
En el suelo, la presencia de Materia Orgánica, es un factor importante, que influye en la biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, (Zeng et al., 2011); un alto contenido en Materia Orgánica, disminuye la disponibilidad de sitios activos para el ingreso de los metales pesados, debido a que, forman complejos con las sustancias húmicas. Los metales pesados pueden cambiar de una forma soluble e intercambiable, a una forma insoluble que este unida con Materia Orgánica, o con carbonatos están en las fracciones residuales del suelo (Clemente, Escobar & Pilar, 2006). La cantidad de concentración del Cloro está condicionada, por los niveles de C y S en el suelo; ya que, el mercurio, forma enlaces con estos elementos, por su alta afinidad. Por eso, el mercurio está presente junto a varios minerales, siendo el más frecuente el cinabrio ( $\text{HgS}$ ). Los estudios realizados por Warren et al. (1966), determino, que los suelos presentan altas concentraciones de mercurio cuando estos contienen Materia Orgánica, o arcillas de manera elevada. Los suelos orgánicos, presentan mayores

cantidades de mercurio que otros minerales, debido, a que, este crea enlaces que une el humus con el mercurio.

La concentración de mercurio, se reduce acorde baja en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, estabilizándose en la profundidad (Carrasco y Millán, 2008). Las precipitaciones, es un factor importante, según los trabajos de T. Mateilainen et al. (2001), ya que, reduce la concentración de mercurio en capa orgánica superficial, incrementando la concentración en capas profundas, por acción de la lixiviación.

Es fuerte la unión que se genera, entre el mercurio y la materia orgánica, debido, a que favorece en el incremento de la acidez del suelo ( $\text{pH} < 4$ ); es decir, a mayores pH ( $\text{pH} > 5,5$ ), los minerales en arcilla y los óxidos de Fe, llegan a adquirir mayor importancia (Andersson 1979). El estudio en las arcillas hechas por Fang (1978) observó, que la mineralogía determina, si el mercurio podrá ser adsorbido en el suelo, donde la illita presenta la mayor capacidad de sorción frente a la caolinita.

Los minerales, son fundamentales en el comportamiento de los metales traza, debido a factores como su área superficial, cargas negativas que presentan en su superficie, o la capacidad de retener los elementos en el espacio interlaminar (Schindler et ál., 2009), también interviene, su capacidad de intercambio catiónico (CIC), la que está relacionado, con la afinidad de enlace de los metal; es decir, a mayor CIC, mayor cantidad de ion adsorbido (Liu et ál., 2010; Pei et ál., 2010; Kabata- Pendias, 1992). Excepcionalmente, los minerales de arcilla, se encuentran de forma pura en los suelos, debido a que, estos se unen con coloides húmicos y precipitados de óxidos, produciendo los complejos órgano minerales (Pei et ál., 2010; Alloway, 1995).



**Ilustración 4. Retención del mercurio en diferentes componentes del suelo**

Fuente: Retención del mercurio en diferentes componentes del suelo influenciados por el pH. ADRIANO, D.C. (1986) Mercury. Trace elements in the territorial environments.

➤ **ÓXIDOS DE HIERRO, MANGANESO Y ALUMINIO**

Los óxidos en el suelo como: el manganeso, hierro, silicio, titanio y aluminio, siendo los tres últimos, los más importantes, en la retención de metales pesados en el suelo (Uchimiya et ál., 2010; Dijkstra et ál., 2004). Dichos óxidos, están presentes en la fracción arcilla (< 2 mm), mezclándose con los minerales de arcilla. El más abundante es el hierro, pudiendo adsorber, metales traza como: Cr, Mo, Mn, Co, Ni, V y Zn, y aniones como el  $HPO_4^{-2}$  (Chakraborty et ál., 2010; Gu et ál., 1994). Las condiciones oxidantes, ayudan en la retención de metales; generando condiciones favorables de reducción.

➤ **CARBONATOS**

Los carbonatos influyen en el pH, y en el comportamiento de los metales traza (Xu y Saiers, 2010; Woodruff y Cannon, 2010). Los elementos traza, coprecipitan juntamente con los carbonatos, que son incluidos en su estructura, son



adsorbidas por óxidos de hierro y manganeso, o, en otras partículas, que se encuentran precipitadas en el suelo sobre los carbonatos (Woodruff y Cannon, 2010).

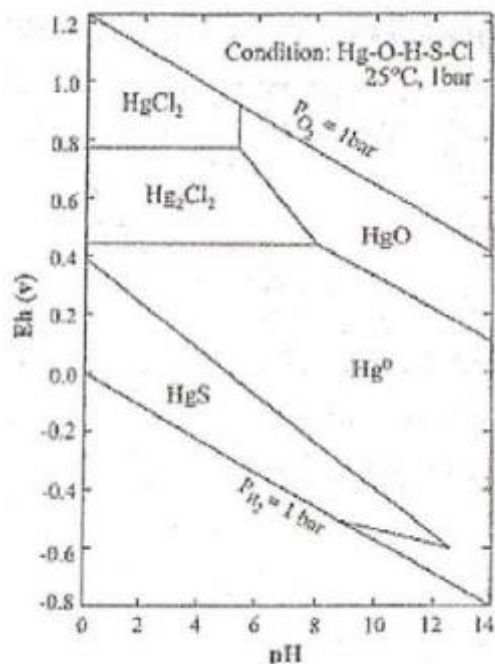
### ➤ **POTENCIAL REDOX**

El potencial Redox, determina la naturaleza de las especies en el suelo. Los metales pesados, como, el Fe, Cr, Hg, Mn y Cu, tienen diferentes estados de oxidación, basándose en el potencial redox del suelo. Estas condiciones de óxido reducción, tienen relación con el pH, influyendo en la solubilidad de las especies químicas (Loeppert et ál., 2002; Xu y Saiers, 2010; Woodruff y Cannon, 2010).

Las formas oxidadas, son menos solubles que las formas reducidas; por eso, los elementos traza, como: Mn, Cu, V, Fe, Cr, etc, son más móviles y están biodisponibles en condiciones reductoras, que, en condiciones oxidantes, (Polubesova et ál., 2010; Alloway, 1995).

Cuando se da las condiciones naturales de potencial redox (Eh) y del pH; la solubilidad del mercurio, es determinada por  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Hg}^0$  y  $\text{HgS}$  (Carrasco y Millán 2008). En oxidación moderada, por encima de un pH de 5, la especie dominante del metal mercurio en solución, será la del mercurio disociado. El mercurio precipita como sulfuro ( $\text{HgS}$ ), cuando las condiciones son ligeramente reductoras, llegando a poseer una solubilidad muy baja; cuando, el ambiente reductor es muy fuerte, por transformación del ion mercúrico a metal libre, la solubilidad aumenta, con un pH elevado (Wollast et al, 1975). En los sedimentos, las condiciones reductoras son necesarias para la formación de metilmercurio.

La formación de metilmercurio, se da en un mayor porcentaje, en un sistema oxidante acuoso, que en un sistema reductor. Se produce, en grados de solubilidad bastantes altos, es decir, el mercurio necesita lugares muy oxigenados (+350 a mv), para poder asociarse, con hidróxidos e iones cloruro por la fuerte tendencia del Hg (II).



### **Ilustración 5. Estabilidad del mercurio según Eh-pH**

Fuente: Estabilidad del mercurio según Eh-pH. ADRIANO, D.C. (1986) Mercury. Trace elements in the territorial environments.

El mercurio se encuentra en suelos, en condiciones normales, en sus tres estados de oxidación, Hg<sup>0</sup>, Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>, y Hg<sup>2+</sup>. El movimiento del mercurio en el suelo, está basada, en el grado de solubilidad que presentan las especies químicas, como son Hg(OH)<sub>2</sub>, HgS, y Hg<sup>0</sup>. En condiciones moderadamente oxidantes, y por encima de pH 5, el mercurio, en solución predominante será el Hg<sup>0</sup>, aun siendo su solubilidad baja con (56 ng/g). En ambientes reductores, el Hg<sup>0</sup> precipita, como sulfuro HgS, siendo su solubilidad mucho menor (0,002 ng/g). El Hg alcanza su máxima solubilidad, en ambientes muy oxigenados con 350 a 400 mV (Adriano, 2001; Summers y Silver, 1978).

Ya en el suelo, el mercurio es retenido por la materia orgánica, así también, por los óxidos de hierro y manganeso, como por los minerales de arcilla (Desauziers et al., 1997). Debido a su reactividad y su superficie específica, los minerales de arcilla, son importantes en la retención del mercurio, principalmente, en suelo neutros y en aquellos escasos de materia orgánica. El Hg, esta unido fuertemente por su afinidad, a diferentes elementos del suelo, como son, los grupos funcionales del azufre, por moléculas orgánicas, en los horizontes superiores del

suelo que tiene gran cantidad de materia orgánica. Se presenta una baja disponibilidad, y movilidad del Hg en el suelo, cuando hay enlaces fuertes en la solución del suelo, como concentraciones traza de Hg; siendo, la especie dominante de Hg (II) en solución, sin complejos y sin cargas. Sin embargo, se produce la movilización, bajo ciertas condiciones, cuando el pH y las concentraciones de los cloruros en la solución del suelo, son favorables en la formación de complejos (Frimmel et al., 1983; Behra, 1986). En suelos ácidos (pH 3 a 5), la materia orgánica soluble que forma compuestos, aumenta la solubilidad de Hg; y en suelos neutros o con poca presencia de materia orgánica, la solubilidad es dominada por los óxidos de Fe, y los minerales de la arcilla, aumenta la movilidad de Hg cuando el pH disminuye.

Las plantas, absorben la fracción de Hg, que está en disolución (fracción soluble), aun esta, se encontró en equilibrio con la fracción de Hg retenida por los diferentes constituyentes del suelo, en menor fuerza.

#### **2.1.5 TOXICODINAMICA**

Estudia los efectos fisiológicos y bioquímicos, que generan los tóxicos y sus mecanismos de acción. Es la interacción de los tóxicos (moléculas, iones, coloides), con lugares específicos de las células o dentro de ellas "receptores", siendo el último resultado, un efecto tóxico en el organismo. (E. K. Silbergeld, 1998)

El proceso de transporte y transformaciones, que ocurre con el tóxico, desde el contacto con la superficie epitelial, entrando en el organismo hasta llegar a alcanzar los órganos, donde se almacenaran, causando lesiones muy complejas.

La Fase Toxicodinámica, se caracteriza, por la presencia de sitios muy específicos del agente tóxico, que se biotransforma. Estos tóxicos al interactuar con las moléculas orgánicas, la modifican bioquímicamente, morfológicamente y funcionalmente, presentando las características del proceso de intoxicación. (E. K. Silbergeld, 1998)

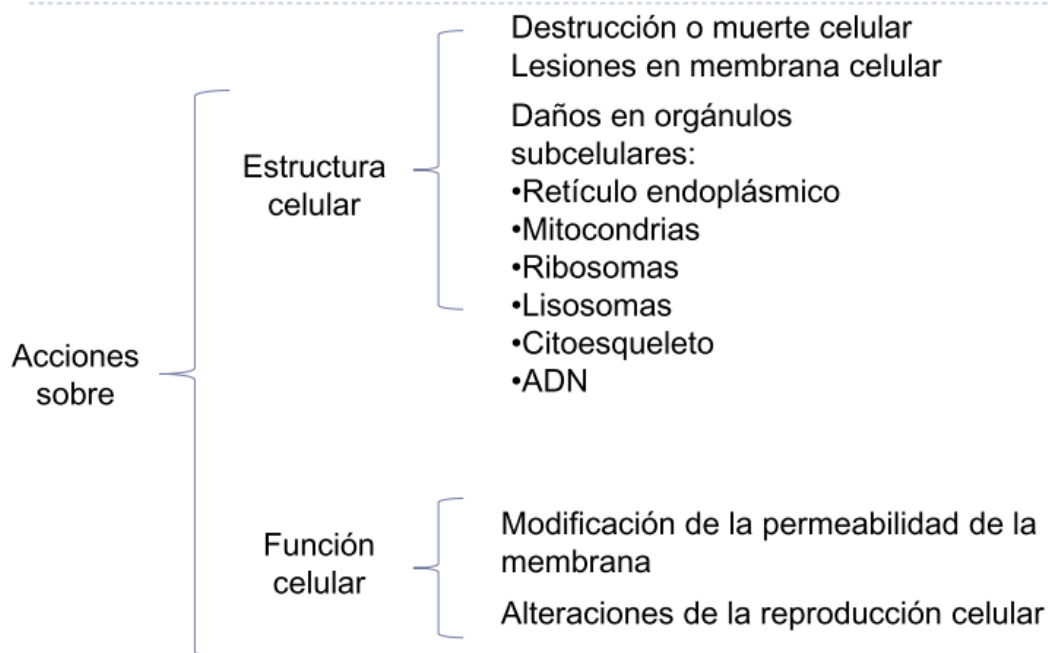
➤ **Mecanismos de Acción**

Receptor

- Sitio donde interactúa el tóxico
- Macromolécula de unión:
  - ✓ Ácidos nucleos.
  - ✓ Proteínas de transporte.
  - ✓ Proteínas estructurales.
  - ✓ Hormonas.
  - ✓ Factores de crecimiento.
  - ✓ Neurotransmisores.
  - ✓ Enzimas de vías metabólicas.

## Mecanismos básicos de toxicidad

---



**Ilustración 6. Mecanismos Básicos de Toxicidad**

Fuente: Mecanismos básicos de Toxicidad. E. K. Silbergeld, 1998

➤ **Acciones Tóxicas de los Xenobióticos**

1. Alteran la estructura, afectando los órganos subcelulares, como mitocondrias, retículo endoplasmático, ribosomas, lisosomas, alteran las membranas celulares.

2. Alteran la función de las células, modifican la actividad enzimática, afectan la permeabilidad de las membranas, y genera cambios en la reproducción celular.

➤ **Alteración en la Función Celular**

- Permeabilidad de membrana. – Ingreso y eliminación de iones, fármacos
- Procesos enzimáticos. - Actividades respiratorias, energéticas y catabólicas.

➤ **Tóxicos a nivel enzimático**

- Moléculas estereoisómeras orgánicas – Inhiben lugares activos de las enzimas.
- Metales (As, Hg, Pb, Cu, Ag, Mn). -Inhiben grupos tioles, bloquean la respiración celular cuando afectan a deshidrogenasas.
- Sustancias metalprivas. Bloquean citocromos respiratorios

➤ **Receptores**

- Fisiológicos, Selectivos y Especializados
- Tóxicos que ayudan a los efectos reguladores llamados AGONISTAS
- Tóxicos que no realizan efecto regulador, pero bloquea la unión del agonista endógeno, son ANTAGONISTAS

➤ **Inhibición Enzimática**

1. Irreversible: Como es el caso de la inhibición de acetilcolinesterasa de manera específica en organofosforados.
2. Reversible: Intoxicación por carbamatos.

#### **1.1.4.1 TOXIDINAMICA DEL MERCURIO**

El mercurio, causa efectos de suma importancia en el organismo, de manera adversa al sistema nervioso central, afectando la función renal y causando alteraciones cromosómicas. Este puede generar ceguera, daña el feto y parálisis. Es difícil y complejo detectar el envenenamiento por mercurio, debido

a su carácter acumulativo; los efectos que genera, no son inmediatos y muchos de los síntomas, son de origen psicopatológico. (Manahan, S., 1999).

La extensión de la toxicidad, depende de diferentes factores, como es el tipo de compuesto de mercurio, la forma química y su potencial de ionización; la duración de la exposición, la dosis ingerida, y la ruta de administración. En humanos, la ingesta de mercurio metálico de forma accidental, aumenta la concentración de mercurio en sangre, llegando a causar enfermedades clínicas. El mercurio orgánico, es absorbido rápidamente, llegando a valores por encima del 95% de absorción. La absorción depende, del tamaño de partícula, la solubilidad, y del grado de descomposición de las sales en los fluidos biológicos. (Wang, L. K. et al., 2009).

La Agencia Americana de Protección Medioambiental (EPA), estimó que la concentración de mercurio en fuentes atmosféricas con  $5 \cdot 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , en áreas rurales, y de concentraciones de  $3 \cdot 10^{-5}$  en zonas urbanas. Las concentraciones del metal, en fuentes hídricas potables y superficiales presentan valores por debajo de  $0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , siendo mayor en efluentes industriales. (Wang, L. K. et al., 2009).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomienda una ingesta máxima de metilmercurio de  $1.6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  por semana en el ser humano; mientras que la EPA y el Consejo Nacional de Investigación (NRC), indica una dosis, de  $0.1 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso corporal, de un adulto por día, (Leopold, K. et al., 2010). La Directiva Europea de aguas, indica que el mercurio y sus compuestos, son sustancias altamente tóxicas, indicando que los valores de límites máximos permisibles son de  $0.07 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  en aguas superficiales.

#### ➤ **En la salud**

Una exposición, ocurre principalmente en la respiración de vapores de mercurio, el cual sucede, en un periodo de tiempo breve, mientras este se evapora. Causando efectos dañinos que alteran al cerebro, a los nervios y riñones, llegan a irritar los ojos, pulmones, genera irritación en la piel, causa vómitos y diarreas.

El Mercurio, no está presente de forma natural en los alimentos, ni en las cadenas tróficas naturales. Las concentraciones de mercurio en los peces, exceden las concentraciones permitidas, debido a que, el agua donde viven está contaminada. Los productos de ganadería, contienen eminentes concentraciones de mercurio. El Mercurio no debería encontrarse en plantas ni cultivos. (Leopold, K. et al., 2010).

El Mercurio, presenta varios efectos adversos sobre la salud de los humanos, siendo simplificados en los siguientes aspectos de salud:

- Daño al sistema nervioso.
- Daño al ADN y cromosomas.
- Reacción alérgica, irrita la piel, genera cansancio y cefalea.
- Efectos adversos en la reproducción, afecta la producción espermática, malformaciones en nacimientos y abortos

Daña la funcionalidad del cerebro, degrada permanente la habilidad de aprender, trastornos en la personalidad, genera temblores, sordera, daña la visión, atrofia los músculos y genera pérdida de la memoria. Daña el cromosoma y causa mongolismo. (Leopold, K. et al., 2010).

- **Indicio de envenenamiento agudo:** se produce por inhalar vapores de mercurio; generando, dificultad en respirar, tos, náusea, dolor de pecho, genera, una sensación de sabor metálico, diarrea, dolor abdominal, dolor de cabeza, vómito y albuminuria. Produce, gastroenteritis aguda intensa, con un tiempo de latencia de alrededor de 24 horas. En casos severos, aparecen síntomas psicopatológicos y temblor de los músculos. (Leopold, K. et al., 2010).
- **Síntomas de envenenamiento crónico o mercurialismo:** se produce, al inhalar vapor de mercurio por un tiempo prolongado. (Leopold, K. et al., 2010). Produce los siguientes síntomas:

- Exposiciones largas, generan problemas renales, bucales, respiratorios y gastrointestinales.
- En exposiciones prolongadas, presenta problemas neurológicos.
- En boca, genera gingivitis, coloración de encías, destrucción alveolar, temblor de la lengua, salivación, problemas para hablar, altera la sensibilidad del gusto en boca, altera el olfato.
- En nariz, genera epistaxis e irritación nasal.
- Genera anemia y pérdida del apetito.
- Neurológicos: produce temblor en párpados, labios, y en las extremidades; en casos extremos, genera rigidez o espasmos crónicos; produce neuralgias, ataxia, parestesias, aumentando el reflejo plantar. Disminuye la vision y opaca el cristalino.
- Psicológicamente, genera excitabilidad, irritabilidad, se reduce la capacidad de concentración, insomnio, produce melancolía, depresión, timidez, fatiga, daña la memoria.
- Se deposita en los órganos como el cerebro, riñón, hígado, y se trasmite, por la leche materna. Es eliminada por medio de la orina. Llega a presentar el desarrollo del síndrome nefrótico.

#### ➤ **En el ambiente**

El Mercurio, ingresa de forma natural en el ambiente, por medio erosión de minerales de rocas y suelos, dadas también, por la exposición al viento y agua. El ingreso de Mercurio, permanece constante a través de los años, en fuentes naturales. Las concentraciones de Mercurio, aumentan considerablemente en el medioambiente, por la actividad humana.

La mayor parte del Mercurio liberado en el medio ambiente, se debe, a las actividades humanas, las que, lo liberan en el aire, por la incineración de la actividad minera, productos fósiles, fundiciones y combustión de residuos sólidos. Las actividades humanas, también liberan Mercurio al suelo y al agua. (Leopold, K. et al., 2010).

El Mercurio que ingresa a las aguas superficiales y a los suelos, son transformados por microorganismos especiales, que en condiciones favorables transforman el mercurio en metil mercurio. Esta es una sustancia, que es

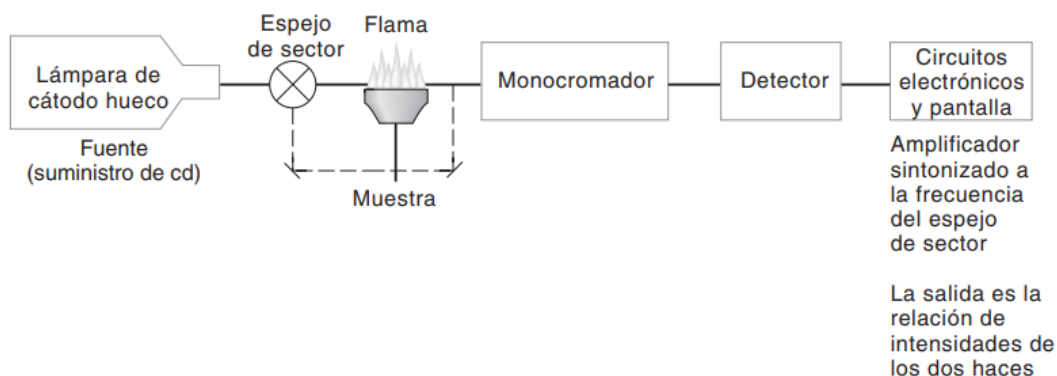


absorbida por los organismos de manera rápida, dañando al sistema nervioso. Los peces, son organismos que son más afectados por este proceso, debido a que, absorben una gran cantidad de metil mercurio, en el agua de los ríos cada día. Como consecuencia, el metil mercurio se acumula en diferentes órganos de los dichos peces, y llegan a entrar en las cadenas alimenticias de las que forman parte. (Leopold, K. et al., 2010).

### **1.1.5 Espectrofotometría de absorción atómica.**

La espectrofotometría de absorción atómica, (*AAS, atomic absorption spectrophotometry*), es un proceso donde interviene el uso de un equipo, que utiliza una flama como atomizador. Este se basa en la Ley de Beer de la espectrofotometría de absorción atómica. La absorbancia, será directamente proporcional, a la trayectoria generada por la flama como longitud, es decir, esta longitud, es la longitud del quemador, por donde pasa la radiación; además, será directamente proporcional, a la concentración del vapor atómico que se encuentra en esta. Estas variables, no son sencillas de determinar, pero, si la longitud de trayectoria se mantiene constante por un tiempo, como la concentración del vapor atómico, esta será proporcional a la concentración del analito, que se aspira en la solución. Para poder obtener un resultado en este procedimiento, se utiliza una curva de calibración con una concentración conocida, en razón de la absorbancia. La espectrofotometría necesita, una fuente luminosa, que es la flama, un monocromador y un detector. Dicha flama, se encuentra entre la fuente y el monocromador. En la ILUSTRACION N° 7, muestra un espectrofotómetro de absorción atómica, este es un instrumento de doble haz, que determina la relación de  $P_0/P$ . Este haz, se envía de manera pausada por medio de la flama y otra trayectoria que no pasa por esta, sino, por un medio de un espejo que lo divide en el sector. Este detector, determina esta alternancia emitiendo un logaritmo de la relación. El amplificador de este detector, es ajustado para poder recibir radiación modulada, de acuerdo a la frecuencia del espejo del sector, entonces, se discierne la emisión producida por la flama. Se debe tener instrumentos de haz doble, que ayuden a corregir el fondo, como las lámparas de deuterio continuas. Es así, que, para tener el doble haz, el divisor reduce la energía radiante, causando mayor nivel de ruido. Los

instrumentos de un solo haz de fuente de alta energía, utilizan correcciones de fondo basados en una línea (miden la adsorción del fondo, por medio de una línea cercana a la línea del analito; dichos equipos dan buenas relaciones de señal al ruido y son más pequeños. (Gary D.C., 2009).



**Ilustración 7. Diagrama de flujo de Absorción Atómica**

Fuente: Diagrama de Flujo de Absorción Atómica. Gary D.C., 2009.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 Adsorción

La adsorción, es el proceso que fija átomos, moléculas e iones, de un gas, líquido o sólido, que se encuentre de forma disuelta en una superficie. Se genera, una película de átomos (*adsorbato*) en la superficie del gas, líquido o sólido (*adsorbente*). La absorción se diferencia de la adsorción, cuando un fluido (el *adsorbato*) es disuelto e ingresa en un líquido, gas o sólido (el *adsorbente*). La adsorción, es un fenómeno de superficie, mientras que, la absorción, incluye todo el volumen del material; la adsorción, precede generalmente a la absorción. La adsorción es un proceso espontáneo, incrementa la concentración de moléculas e iones en la superficie de sólidos o líquidos, por medio de fuerzas no compensadas en dicha superficie. (Fu, F. L. and Wang, Q., 2011). La interacción, entre el adsorbente y adsorbato es muy compleja y depende de varios factores, como son los parámetros físico químicos del medio donde se encuentran, el pH, la superficie del material, la temperatura, fuerza iónica, etc. Como también el tipo de interacción, sea química o física, entre

el compuesto, el adsorbente y el tiempo de contacto entre ambos (Wang, L. K. et al., 2009).

### **2.2.2 Adsorción física**

Esta adsorción, no es específica, dado que, estas fuerzas de atracción de las moléculas, que se encuentran en las superficies sólidas, son débiles. La activación energética de adsorción física no es más que 1Kcal/gmol. Esta fuerza disminuye rápidamente. (Liu, Y. and Wang, J., 2009; Volesky, B., 2003)

### **2.2.3 Adsorción química o Quimiosorción**

Esta adsorción es específica, las fuerzas de atracción son bastante fuertes, las moléculas adsorbidas son atraídas por fuerzas de valencia del mismo tipo, como sucede entre átomos y moléculas, dicho proceso es estudiado por el modelo de Langmuir. (Liu, Y. and Wang, J., 2009; Volesky, B., 2003)

### **2.2.4 Bioadsorción**

La bioadsorción, es un proceso fisicoquímico, donde se presenta, fenómenos de adsorción y absorción de iones y moléculas. Este proceso, ayuda en la remoción de metales pesados, como también de especies metaloides que se encuentran en soluciones diluidas, donde contenga materiales biológicos (bacterias, algas, frutos, hongos, etc), estos materiales se encuentran en la naturaleza de forma abundante, inclusive llegan a formar parte de desechos de eliminación. La transformación de estos materiales en bioadsorbentes, no es un proceso costoso. (Tapia H, Nelson J, Muños C. 2003)

### **2.2.5 Bioacumulación**

Es la acumulación de sustancias químicas tóxicas en los organismos vivos, donde estos elementos alcanzan concentraciones elevadas, a diferencia de las concentraciones presentes en el medio. Los organismos con mayor probabilidad de bioacumulación, alcanzan concentraciones crecientes, y esta aumenta cada vez que suben en el nivel trófico de la cadena alimenticia. La acumulación, sucede por elementos de origen abiótico (suelo, aire y agua), o bióticas (en los organismos vivos contaminados). El ingreso de una sustancia química tóxica,

dentro en un organismo vivo, es, por las vía respiratoria, digestivas e integumentaria. (Rand et al., 1995).

### **2.2.6 Biomagnificación**

Es el ingreso por medio del alimento, de una sustancia química (metal pesado) al organismo, aumentando la concentración del elemento toxico dentro de este, a diferencia de la fuente de origen, (Conell, 1990; Rand et al., 1995), esto produce un incremento en la concentración del toxico en los niveles tróficos.

El aumento sucesivo, de la bioconcentración de los elementos tóxicos en los diferentes eslabones de la cadena alimenticia, es menor, en los organismos que se encuentran al inicio de la cadena trófica, y este aumenta, cuando el organismo asciende en dicha cadena. Es decir, las presas contienen menos concentración de elementos tóxicos que el predador.

### **2.2.7 Toxicocinética**

La Toxicocinética, estudia el ingreso de los tóxicos en el organismo, como también, los procesos de transporte por los fluidos corporales, la distribución y acumulación en tejidos y órganos, la biotransformación en metabolitos y la eliminación del organismo, por medio de la excreción de tóxicos y metabolitos. (E. K. Silbergeld, 1998)

### **2.2.8 Toxicodinámica**

Estudia los efectos bioquímicos y fisiológicos de los tóxicos en el organismo; como actúan e interaccionan los tóxicos (moléculas, iones y coloides), con lugares de acción específicos de las células o dentro de ellas, el que, se da por medio de receptores, obteniendo un resultado tóxico para el organismo. (E. K. Silbergeld, 1998)

### **2.2.9 Metal Pesado**

Grupo de elementos caracterizados, por tener una densidad mayor al 5.0 gr/cm<sup>3</sup>, presenta propiedades metálicas (Sengupta, 2002).

Son componentes naturales de la corteza terrestre. Juegan un papel importante en los organismos, debido, a que cumplen funciones bioquímicas y fisiológicas. Algunos oligoelementos, son esenciales en el sistema bioquímico de los organismos vivos. Son potentes tóxicos, tanto en seres humanos, en los organismos y en los ecosistemas; debido, a las vías de exposición, la dosis ingerida, y la naturaleza química del metal.

## **2.3 ANTECEDENTES EMPIRICOS DE LA INVESTIGACION**

### **2.3.1 INTERNACIONALES**

- **ROCHA. R. L, OLIVERO. V. J y CABALLERO. G. K, (2017)**, “Impacto de la minería del oro, asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de loba, sur de Bolívar (Colombia). Evaluó las concentraciones de mercurio total (HgT), en el suelo superficial de San Martín de Loba. Obtuvo un total de 202 muestras de suelo superficial. Las concentraciones de HgT, fueron medidos por atomización electrotérmica y espectroscopia de absorción atómica. La cantidad de HgT varió de 0.002 a 23.83 µg/g, teniendo un valor medio de  $3.40 \pm 0.36$  µg/g, el cual fue relativamente alto de concentración de mercurio en suelo, según el (Igeo). El índice de geo acumulación (Igeo) para suelo, tuvo concentraciones superiores de 5, el cual indica una contaminación extrema, el 17 % de estas muestras resultaron extremadamente contaminado.
  
- **Marrugo. N. P Ph.D; Pinedo. H. J M. Sc; Paternina. U. R. M.Sc, Quiroz. A. L; Pacheco. F.S. (2018)**. “Distribución espacial y evaluación de la contaminación ambiental por mercurio en la región de la Mojana, Colombia”, Estudiaron la concentración de mercurio total (HgT), en sedimentos superficiales, en plantas de arroz, macrófitos, peces y cabello; estudiaron el índice de geo acumulación por HgT en sedimentos, la vulnerabilidad de la población por ingesta de pescado en la región de la Mojana, Colombia. Obtuvieron que, la cantidad de HgT en peces, fue de  $0.223 \pm 0.027$  µg/g. De las muestras de peces, el 11.6% sobrepasaron el

límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (0.5 µg/g). La cantidad de HgT, en macrófitos (*Eichhornia crassipes*) y en cultivos de arroz fueron muy altas, en aquellas muestras que recibieron riego de agua con contaminantes de las áreas de actividad minera, lo mismo ocurrió para sedimentos.

- **Camargo G. J, Arias M. J y Muñoz P. D (2014).** “Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia”, evaluó el contenido de Mercurio, en el suelo y en lechos de quebradas. Realizó de forma sistemática un muestreo, donde considero aquellos montajes de actividad minera que se encuentra inactiva, activa y áreas no intervenidas. Realizó observaciones, en zona altas, medias y bajas de las quebradas naturales, y de los drenajes con formación artificial. Sus promedios fueron valores de Hg (7.1 mg/kg), los resultados más altos se dieron en aquellas zonas cercanas a los montajes y al aumento de lluvias en dicha zona.

### 2.3.2 NACIONALES

- **AROSTEGUI S. V. (2017).** “Determinación de los niveles de concentración de mercurio en suelos y plátano *Musa* cultivar AAB, sub grupo Plantain, en Sarayacu, Punkiri Chico e Iberia - Madre de Dios”, Estudió la concentración de mercurio en el suelo, y en plátano de variedad *Musa*, en Sarayacu, Punkiri Chico e Iberia Madre de Dios. Muestreó tres sectores, analizando los niveles de concentración de mercurio en laboratorio. Se reportó en los tres sectores, valores por debajo de los límites detectables en muestras de suelos (< 0,010 mg/kg); en el caso de Punkiri Chico. De obtuvo un promedio en su concentración de 0,08500 mg/kg, el cual, es superior a los Límites Máximos Permisibles establecidos, por la Asociación de la Industria de jugos y néctares de frutas y vegetales de la Unión Europea, y la Comisión del Codex Alimentarius – FAO/WHO (0,010 mg/kg).

- **DELGADO P. J. (2019).** “Relación entre la amalgamación con mercurio, para la recuperar oro y el grado de contaminación del suelo (SECOCHA, 2018)”. Estudió las concentraciones de mercurio, en los suelos donde se realizan actividades de amalgamación, como también en los que no se realizan dicha actividad. Determinó el área de interés con 0,5 Ha, por muestreo de identificación. Concluyendo que, en los sectores donde se realizan actividades de amalgamación, se observan concentraciones altas de mercurio, a nivel superficial (513,7712 mg/kg), y estas disminuyen conforme avanzan en profundidad ,66,8646 mg/kg a 30 cm, y 18,3642 a 60 cm. Las muestras, sobrepasan los estándares de calidad ambiental en suelo, (D.S. N° 011-2017-MINAM), provocando la pérdida de calidad, volviendo el suelo inutilizable, generando grandes impactos ambientales.
  
- **MUÑOZ. O.C. (2019).** “Niveles de Mercurio en suelos alterados por la minería ilegal, en la Comunidad de San Jacinto, Provincia de Tambopata – Madre de Dios”. Determinó los niveles de mercurio, en suelos alterados por la minería ilegal, y si están contaminados por este elemento, debido al mal uso y manejo en el proceso extractivo. Se realizó el muestreo de suelos, en la minera de la zona conocida como corredor minero de Madre de Dios. Se utilizó, la guía para muestreo de suelo del Ministerio del Ambiente. Los resultados se compararon con los estándares de calidad ambiental, obteniendo que, las muestras no contienen mercurio; se realizó un diagnóstico del área de estudio, donde se determinó las características y factores del área de estudio que influían en los resultados de laboratorio. El estudio determinó que, el usar mercurio en la amalgamación de oro, no presento mercurio en el suelo de los horizontes superficiales, debido a su permeabilidad, y por no presentar cobertura vegetal, quedando expuesto a la precipitación.

## **2.4 MARCO NORMATIVO**

- **LEY N° 28611, LEY GENERAL DEL AMBIENTE;** Artículo I.- Toda persona tiene el derecho, a vivir en un ambiente saludable, adecuado y equilibrado, para su pleno desarrollo, con el deber de proteger el ambiente

y contribuir a una gestión ambiental efectiva, asegurando la salud de las personas, sea individual o colectiva, como la preservación de la diversidad biológica, uso sostenible de los recursos naturales y desarrollar de manera sostenible el país.

- **Ley N° 26821, LEY ORGANICA PARA EL APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES.** - Indica que, el Estado vela en otorgar de manera sostenible los recursos naturales, que estos sean otorgados de manera armónica, priorizando el interés de la Nación, para el bien común, dentro de límites y principios establecidos; Que, por el artículo 28° de la Ley N° 26821, los recursos naturales, serán provechados en manera sostenible, es decir, manejar racionalmente los recursos naturales, verificando su capacidad de renovación, evitando la sobreexplotación, y reponiéndolos cualitativa y cuantitativamente.
- **Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA EL SUELO.** - Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio, para parámetros asociados a las actividades productivas extractivas y de servicios. De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.
- **Decreto de Urgencia N° 012-2010.- DECLARAN DE INTERÉS NACIONAL, EL ORDENAMIENTO MINERO EN EL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS.** Declara de interés nacional, la ejecución prioritaria del ordenamiento de la actividad minera aurífera, para, garantizar la salud de la población, la conservación del patrimonio natural, la seguridad de las personas y el desarrollo de actividades sostenibles. Bajo Resolución Ministerial N° 046-2010-MINAM.



- **DECRETO DE URGENCIA N° 007-2011.- MODIFICA EL ARTÍCULO 8° DEL DECRETO DE URGENCIA N° 012-2010, AMPLIADO POR DECRETO DE URGENCIA N° 004-2011.-** Describe las medidas, para erradicar el uso de dragas y artefactos, que incrementan la actividad minera. Facultan a la Dirección General de Capitanías y Guardacostas, para, disponer del decomiso de dragas y artefactos, que realicen actividades extractivas auríferas sin autorización; procediendo, en su destrucción y demolición donde estas sean encontradas; ya sea, en cauces, riberas de los ríos y lagunas dentro del departamento de Madre de Dios.
  
- **LEY N° 27651.- LEY DE FORMALIZACIÓN Y PROMOCIÓN DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y LA MINERÍA ARTESANAL.** Promueve, la introducción de la minera legal, permitiendo regular adecuadamente las actividades mineras, desarrolladas por los pequeños mineros y mineros artesanales, formalizándolos, promoviendo el desarrollo de esta actividad.

## **CAPITULO III**

### **3.1 HIPOTESIS**

#### **3.1.1 HIPOTESIS GENERAL**

El suelo impactado por las operaciones de la actividad minera en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, presenta niveles altos de contaminación por mercurio, como también impacta en su capacidad de adsorción.

#### **3.1.2 HIPOTESIS ESPECIFICAS**

- La distribución de mercurio es homogénea en el área de estudio.
- Existe relación de las características físicas y químicas en la concentración de mercurio.
- La vegetación está contaminada con mercurio.
- Existe relación entre la concentración de mercurio en el suelo y la concentración de mercurio en la vegetación.

### **3.2 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES E INDICADORES**

#### **VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Características físico y químicas del suelo.
- Taxa de vegetación

#### **VARIABLES DEPENDIENTES**

- Concentración de Mercurio ( $\mu\text{g}$ )
- Capacidad de Adsorción

**Tabla 1. Operacionalización de Variables**

<b>Denominación de la variable</b>	<b>Características físico y químicas del suelo</b>	<b>Taxa de vegetación</b>	<b>Concentración de Mercurio (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	<b>Capacidad de Adsorción</b>
<b>Tipo</b>	Independiente	Independiente	Dependiente	Dependiente
<b>Naturaleza</b>	Cuantitativa	Cualitativa	Cuantitativa	Cuantitativa
<b>Medición</b>	Razón	Razón	Razón	Razón
<b>Indicador</b>	Análisis físico químico	Identificación taxonómica	Moles Hg	Mol Hg/L
<b>Unidad de medida</b>	Análisis físico químico	Familia	Absorbancia	Mol Hg/L
<b>Instrumento</b>	Metodología de análisis físico químico	Identificación Taxonómica	Adsorción Atómica	Formula Isoterma de Lagmuir
<b>Dimensión</b>	Químico	Biológico	Químico	Químico
<b>Definición operacional</b>	Resultado análisis físico químico	especie	Moles Hg	Mol Hg/L

## **CAPITULO IV METODOLOGIA**

### **4.1 AMBITO DE ESTUDIO**

La obtención de muestras de suelo y vegetación, para el presente estudio se realizó en la Región de Madre de Dios, Provincia de Tambopata, Distrito de Laberinto, en la concesionaria “Kiara y Grecia”. Ubicado a una altitud media 200 msnm, a 12° 52’ 29” S de Latitud Sur y a 69° 59’ 08” W Longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich; con una extensión superficial de 20 km<sup>2</sup>, se ubica a 377 km aproximadamente de la ciudad del Cusco, con la que se comunica por pista asfaltada, que corresponde a la carretera Panamericana Sur. La población se dedica a la agricultura, ganadería y en mayor porcentaje a la minería.

#### **4.1.1 Ubicación Política**

Región	:	Madre de Dios
Provincia	:	Tambopata
Distrito	:	Laberinto
Localidad	:	La Pampa

#### **4.1.2 Ubicación Geográfica**

El presente estudio, se realizó en la región de Madre de Dios, Provincia de Tambopata, Distrito de Laberinto. Ubicado a una altitud media 200 msnm, a 12° 52’ 29” S de Latitud Sur y a 69° 59’ 08” W Longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich; abarca una extensión total de 20 km<sup>2</sup>.

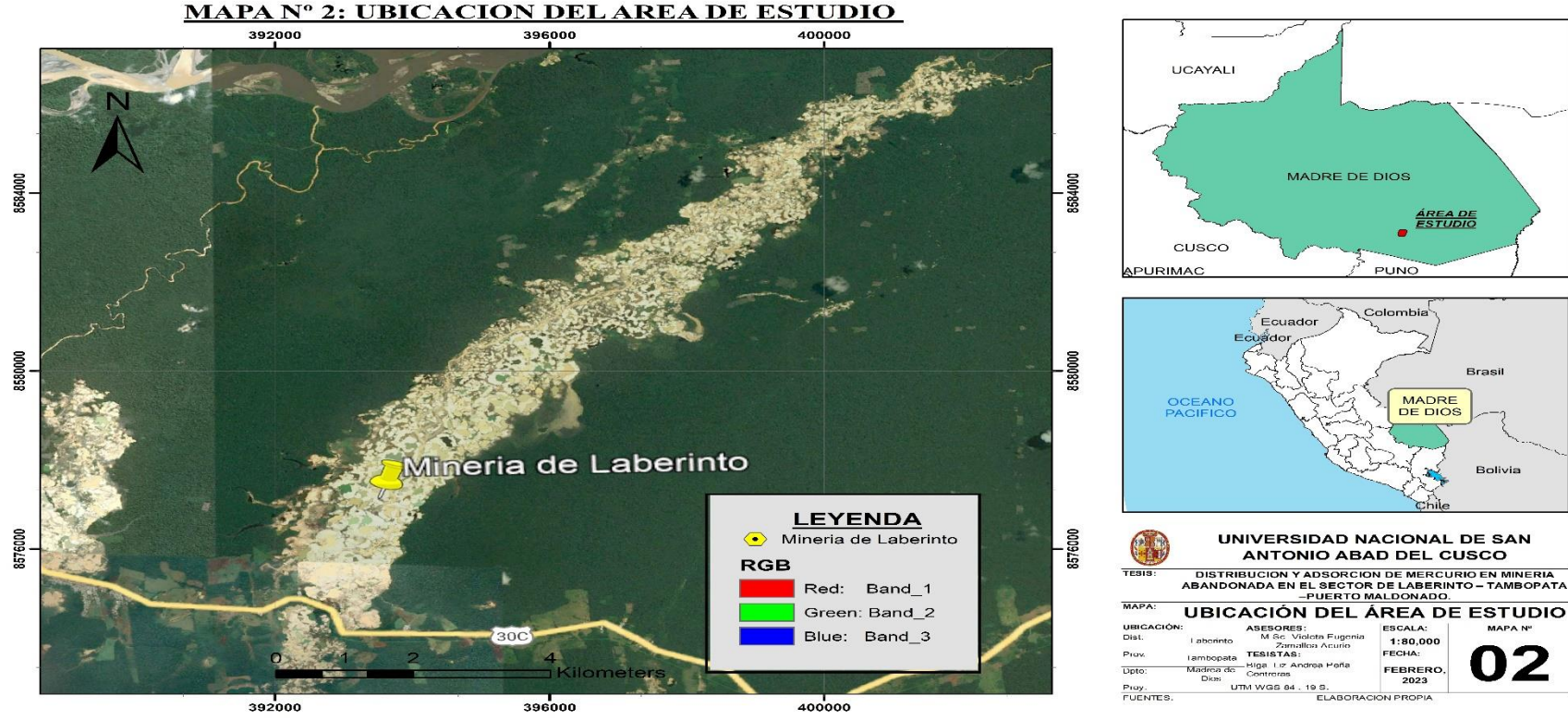
En la Ilustración N°8 se observa la ubicación de la zona de estudio (concesión minera de “KIARA Y GRECIA”) en el sector de La Pampa, en la Localidad de Laberinto, se observa el tamaño de dicha concesión, la que presenta una gran área de devastación y deforestación, se tiene una extensión aproximada de 34,875 km<sup>2</sup> de área devastada por la actividad minera.



**Ilustración 8. Mapa de Distribución de la zona de estudio**

Fuente: Mapa de la distribución de la zona de Estudio. Google earth 2020

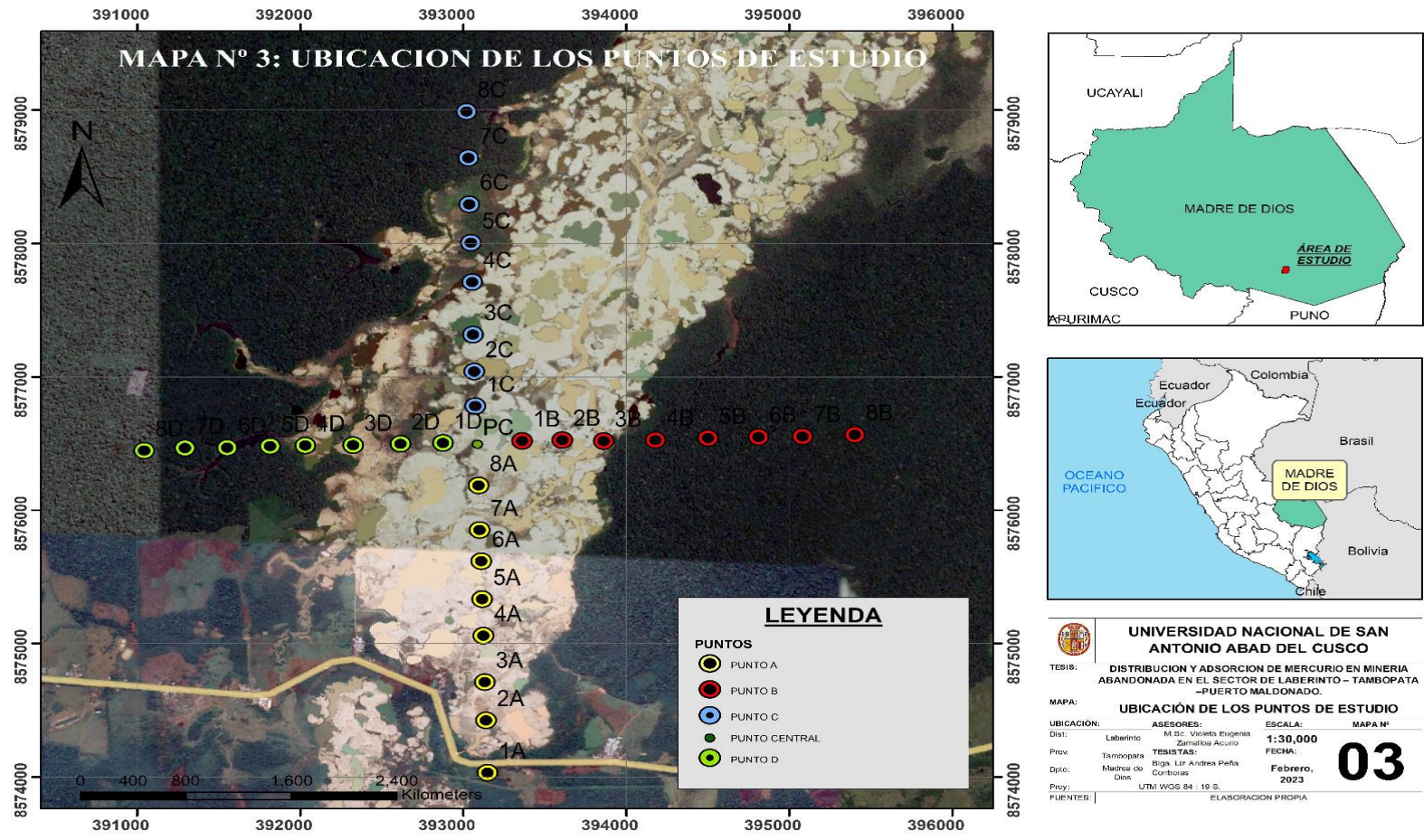
En la Ilustración N°9 se aprecia el área total de devastación producida por la actividad minera en el sector de Laberinto teniendo un total de 34,875 km<sup>2</sup> de área devastada.



**Ilustración 9. Mapa de la extensión total del area debastada por la minería ilegal en el sector de Laberinto**

Fuente: Mapa de la distribución de la zona de Estudio. Google earth 2020

En la Ilustración N°10 se observa los puntos de muestreo de la recolección, de muestras de suelo y vegetación, obteniendo un total de 33 muestras de suelo, y, muestras vegetales las cuales variaron, según la existencia de vegetación en dichos puntos. Se observa el tamaño del área de estudio, con un total de 20 km<sup>2</sup>, los cuales abarcan la mayor parte de área devastada por la minería, presentando pequeñas zonas donde se encuentra vegetación



**Ilustración 10. Ubicación de puntos de muestreo**  
 Fuente: Distribución de puntos de Muestreo, Google earth 2020



### **4.1.3 CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE EXTRACCION DE MUESTRAS DE TIERRA Y VEGETACION**

#### **4.1.3.1 MEDIO FISICO**

La Localidad de Laberinto, está ubicada en el Distrito de Laberinto, en la Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios. Se encuentra a una altitud media de 197 msnm. Con una extensión aproximada de 2,760.90 km<sup>2</sup>.

#### **4.1.3.2 GEOMORFOLOGIA**

La Localidad de Laberinto, fue moldeada por los ríos de la vertiente oriental de manera erosiva, los que discurren a la Cuenca Atlántica por el río Madre de Dios. Las aguas que ingresan en este río, bajan por la Cordillera Oriental, por los sectores denominados Carabaya, Sandia, Marcapata y Quincemil. (Carta Geológica Nacional, del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 1996)

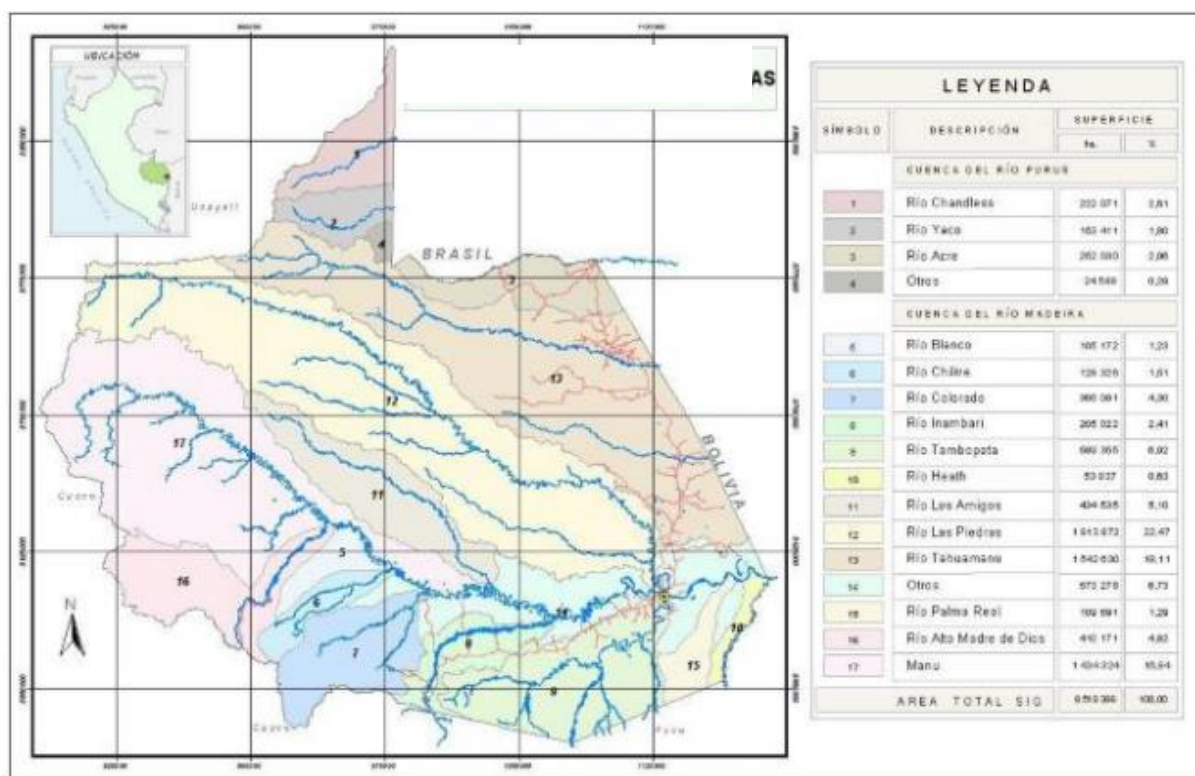
La Localidad de Laberinto, se formó por la Unidad llamada “La Llanura”, formando una llanura extensa, en el Sureste peruano, siendo este, el cauce donde discurre el río Madre de Dios. Esta llanura abarca los terrenos bajos de los ríos Inambari, Colorado y Tambopata. Estos ríos, forman terrazas en ambas márgenes, formando diferentes playas y niveles (point bar), así como aguajales y áreas inundables, debido al crecimiento periódico de los ríos.

Al enderezar el recorrido de un río en su cauce, se llega a formar cochas o lagunas en meandros. Los ríos Colorado e Inambari forman canales entrelazados por los cursos anastomosados; los ríos Madre de Dios y Tambopata presentan cursos meandriformes, debido, a que por su baja gradiente estos discurren muy lento. La llanura del Departamento de Madre de Dios, está conformada, por diferentes capas de sedimentos fluviales como cobertura, del Terciario superior y Cuaternario. En esta llanura, denominada “los placeres”, existen depósitos aluviales auríferos, que están ampliamente esparcidos, formando el 20% de dicha área superficial, ubicados en las llanuras de inundación y en las terrazas. (Carta Geológica Nacional, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 1996)

### 4.1.3.3 HIDROGRAFIA

El área de estudio se encuentra ubicada, en la Cuenca Hidrográfica del río Madre de Dios, que es el más importante río colector de la región, los tributarios de mayor relevancia son los ríos, Colorado, Inambari, y Tambopata, por la margen derecha; y los ríos Heath y de los Amigos por la margen izquierda.

El principal río, es el Tambopata, que es el mayor afluente; este se origina, en la Sierra de Carabaya y Sandía; se enfila primero, con un rumbo Sur Norte, y luego, se une al río Malinowsky o río Carama, y toma la dirección Suroeste Noreste, hasta desembocar en el río Madre de Dios, en la ciudad de Puerto Maldonado. En esta parte, el río pasa por grandes curvas, que forman los denominados meandros. El río Madre de Dios es navegable, desde Puerto Maldonado y Astillero, con embarcaciones pequeñas, lanchas, etc. (Carta Geológica Nacional, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 1996)



**Ilustración 11. Mapa Hidrológico de Madre de Dios**

Fuente: Mapa Hidrológico de Madre de Dios. Maco García J.(2008) Zoonificación Ecológica y Económica del Departamento de Madre de Dios.

#### **4.1.3.4 ECOLOGIA**

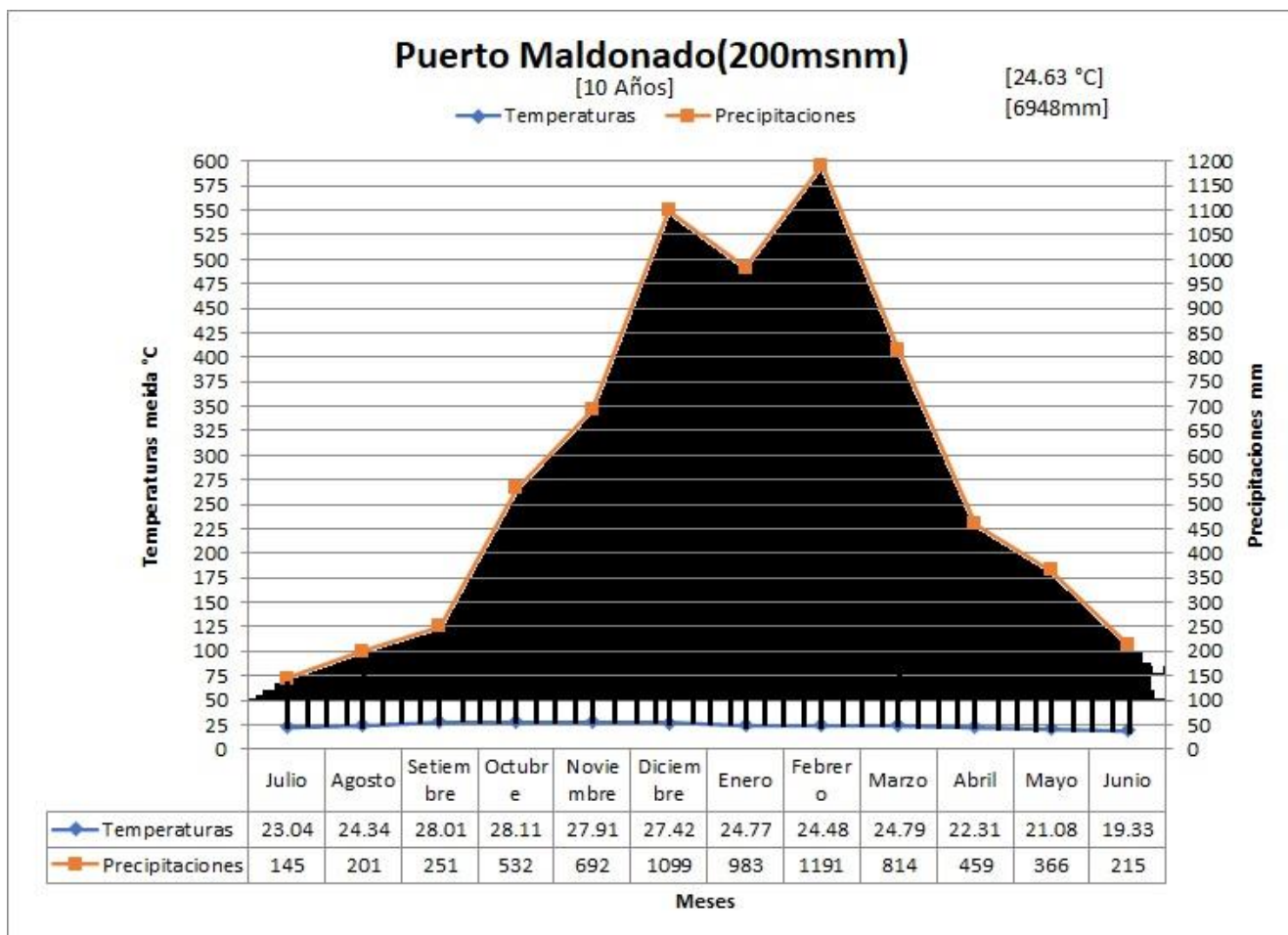
Se solicitó información al SENAMHI, de las estaciones de Puerto Maldonado y Malinowsky desde el 2010 hasta el 2020. Para poder evaluar el clima y las diferentes características de los elementos meteorológicos, en el área de estudio.

La estación Puerto Maldonado, tiene un registro de información meteorológica de 40 años (1961-2010), esta estación está ubicada en el distrito de Tambopata, provincia de Tambopata.

#### **4.1.3.5 CLIMA**

La localidad de Laberinto, está conformado por veranos cortos, muy calientes, mojados y generalmente nublados; los inviernos son cortos, calientes y parcialmente nublados. Durante el año, la temperatura varía entre los 12 °C a 32 °C, y, es poco común que esta llegue a bajar a menos de 13 °C, o suba a más de 36 °C. INRENA (2007).

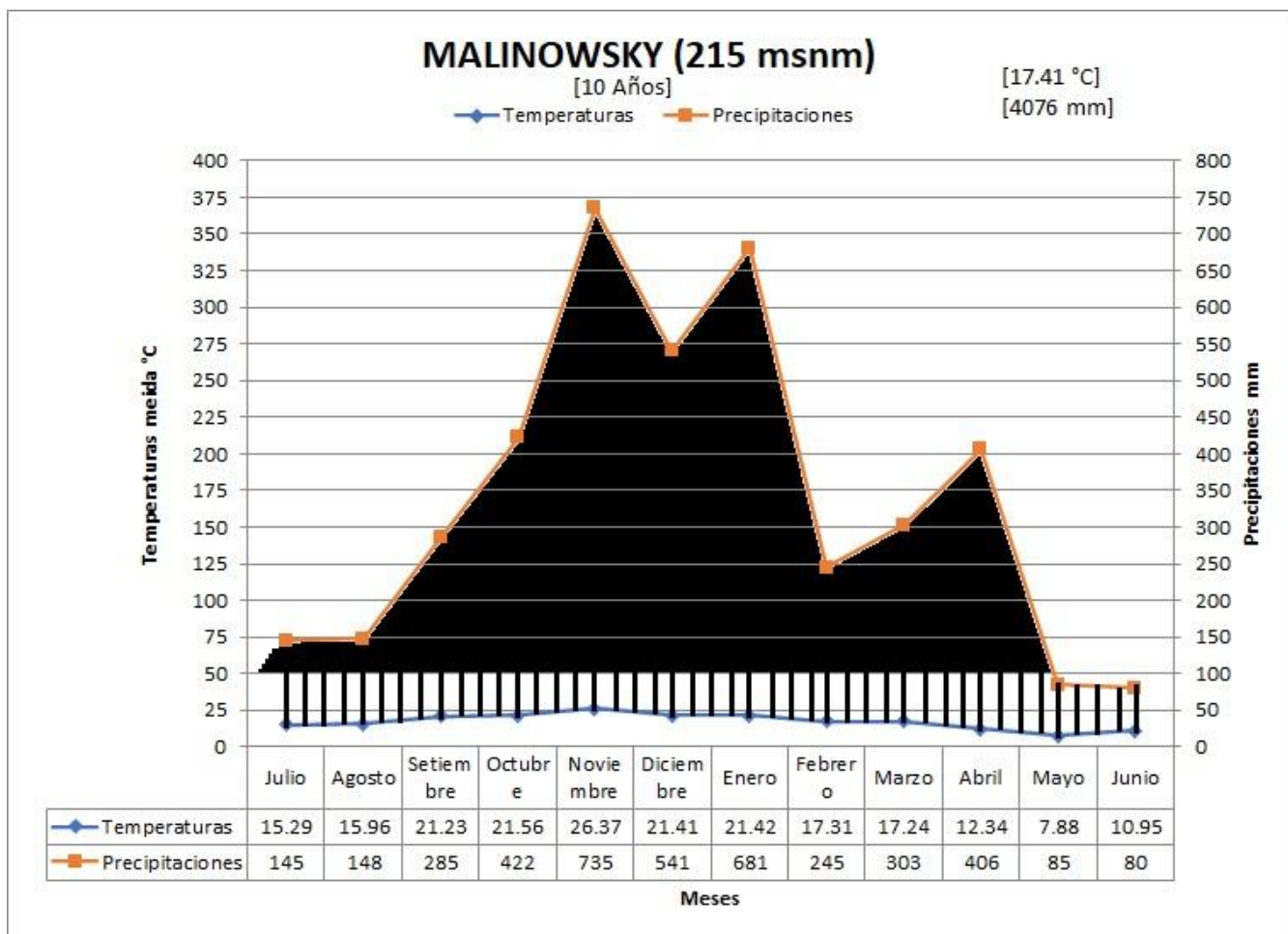
En el Climatodiagrama de la estación de Puerto Maldonado, se observa que la temperatura promedio anual de 24.95°C, la precipitación promedio anual es de 579 mm/año.



**Ilustración 12. Climatodiagrama de la Estación de Puerto Maldonado-Laberinto - Puerto Maldonado**

Fuente: Climatodiagrama de la Estación de Puerto Maldonado. SENAMHI (2010 – 2020)

En el Climatodiagrama de la estación de Malinowsky, se observa que la temperatura promedio anual de 17.42°C, y la precipitación promedio anual es de 340 mm/año.



**Ilustración 13. Climatodiagrama de la Estación de Malinowsky – Laberinto - Puerto Maldonado**

Fuente: Climatodiagrama de la Estación de Malinowsky. SENAMHI (2010 – 2020)

La Localidad de Laberinto – Tambopata – Puerto Maldonado, se encuentra en la siguiente clasificación Climática.

➤ **Clima Muy Húmedo – Cálido**

La Localidad de Laberinto, presenta un clima muy húmedo y cálido, siendo en invierno seco, y no tiene definido un cambio térmico. Se encuentra en una zona entre 160 y 250 msnm. Su temperatura promedio anual, es de 24.80°C, y la precipitación aproximada es de 320.82mm. Su mayor característica, es la presencia de los denominados friajes. Las temperaturas mínimas, se dan entre los meses de mayo a setiembre, oscilando alrededor de los 15°C. Estas temperaturas son frías, para una zona de franja tropical; los vientos son

producidas por ondas de aire frío, estas proceden del Anticiclón del Atlántico Sur. Las olas de frío, generan cambios en el estado del tiempo, desciende bruscamente la temperatura del aire, la cual es asociada a los vientos fuertes y cambiantes de dirección. Maco Garcia J.(2008)

#### **4.1.3.5.1 TEMPERATURA**

La temperatura en la Localidad de Laberinto, incrementan en la estación húmeda de octubre, noviembre a marzo, y disminuye en la estación seca de abril a setiembre.

Su temperatura promedio anual, es de 24.80°C, la temperatura promedio anual más baja es de 20.67°C, y, la temperatura promedio anual más alta es de 25.97°C. (SENAMHI 2015-2020)

#### **4.1.3.5.2 PRECIPITACION**

La precipitación promedio anual, es de 326.08 mm/mes, el mes de noviembre registra mayor precipitación, con un promedio de 320.82 mm/año, y julio es el mes de menor precipitación, con un promedio total de 84.43 mm/año.

El tipo más común de precipitación, en el área de estudio, es la lluvia, con una probabilidad máxima del 64 %. SENAMHI (2020).

#### **4.1.3.5.3 HUMEDAD**

La humedad, es el factor atmosférico que determina, la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera. Expresándose como humedad relativa del aire, es decir, la presión real del vapor de agua expresada en porcentaje, junto a la presión de vapor saturante a una temperatura igual. La variación de la humedad relativa mensual, no es marcada en el área de estudio; debido a que por excelencia es una zona húmeda.

La humedad relativa media mensual promedio, es de 87.40%. Los meses de enero y febrero, registran menores valores de humedad relativa con 74.67%; mientras que el mes de diciembre, presenta el mayor valor de humedad con 90.99%. SENAMHI (2020).

#### **4.1.3.6 ZONA DE VIDA**

La Localidad de Laberinto – Tambopata – Puerto Maldonado, se encuentra las siguientes Zonas de Vida.

➤ **Bosque muy Húmedo Premontano Tropical Transicional a Bosque Húmedo Tropical**

El área de estudio, se encuentra en la Zona de Vida denominada, bosque muy húmedo, Premontano Tropical Transicional a bosque húmedo Tropical, se distribuye en las regiones latitudinales del país. Esta abarca la Selva Baja y parte central en la Selva Alta, y sobre laderas que tienen pendientes de 70 y 100%. Se encuentran entre 600 y cerca de 2,000 msnm, para Selva Alta, y 200 y 400 msnm para la Selva Baja. Esta zona de vida según el estudio de Holdridge, presenta una temperatura promedio anual de 24°C y 25.5 °C, y una precipitación promedio de 3,000 y 3,500 mm. Su evapotranspiración potencial total, se encuentra por 0.25 a 0.5 del promedio de precipitación en un año, por lo que se cataloga en providencia de humedad: PERHÚMEDO.

Según el Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1994), en estos valles predomina, el escenario aluviónico, Fluvisoles dístricos (ácidos) y eútricos (de pH neutro o ligeramente alcalino). La vegetación es verdosa, con bejucos y lianas cubiertos por epífitas. Los árboles están distribuidos en cuatro estratos: dominantes, suprimidos, oprimidos y sobresaliendo. Los grandes árboles, emergen alcanzando hasta 45 m de altura, dichos bosques tienen una composición florística muy heterogénea. La mayoría de ellos, presentados estratos codominantes, algunos dominantes y emergentes, de los árboles que presentan fustes y estén limpios de ramas, hasta dos tercios más arriba de su altura total, y volumétricamente entre 100 y 160 m<sup>3</sup> por hectárea. Las condiciones ecológicas de esta zona de vida, no favorecen la actividad agrícola y ganadera.

➤ **Bosque muy Húmedo Tropical**

La Zona de Vida bosque muy húmedo Tropical, se encuentra en la franja latitudinal Tropical del país. Su distribución, es exclusiva de la Selva Baja, entre los 200 y 500 m de altitud. Es catalogado como un bosque muy húmedo Tropical por el estudio de Holdridge, con una temperatura promedio anual de 24°C, y precipitación promedio de 4,000 y 8,000 mm por año. su promedio de evapotranspiración potencial es de 0.25 a 0.5 de total en un año, siendo por su providencia de humedad: PERHÚMEDO.

Según el Mapa Ecológico del Perú (INRENA, 1,994), la topográfica, es colinada y fuertemente disectada. Los suelos son ácidos, profundos, y, poco fértiles. A lo largo de los ríos, se distribuyen Fluvisoles dístricos. La vegetación es exuberante, perennifolio, la parte florística es compleja. Los árboles presentan gran altura, con troncos gruesos, rectos y sin ramas, con capas pequeñas, pero compactas relativamente, conformando un dosel cerrado, que, no deja entrar casi en su totalidad los rayos solares. Los árboles, presentan cinco niveles: Los más altos, compuestos palcanzoles con alturas de 60 m y diámetros de 2 y 3 m. El segundo nivel, con árboles densos, de 50 m, y diámetros de 1.20 y 2.00 m. El tercer nivel, con árboles de 35 m. Los niveles cuarto y quinto, con 20 y 15 m de altura, conjuntamente con palmeras. Existe escasa vegetación porque existe competencia radicular, poca entrada de rayos solares, por la copa de los árboles, siendo escasas las especies arbustivas y herbáceas en el sotobosque. En las partes altas de los árboles existen las de epífitas, como, los líquenes, musgos, trepadoras como lianas y bejucos.

Dicha Zona de Vida, tiene alta presencia de lluvias lo que no favorece la actividad agropecuaria, con suelos empobrecidos y erosionables, propiciando la invasión de malezas que compiten con los cultivos. Estas tierras son apropiadas, para el recurso forestal.

#### **4.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION**

- **Investigación exploratoria:** se tomó las muestras in situ tanto de suelo como de vegetación, el cual se modificó debido a la accesibilidad de la zona y a la población de vegetación en el rango del área de estudio.



- **Nivel descriptivo:** se describió la problemática actual del área de estudio tanto para el suelo como para la vegetación aledaña.

### **4.3 UNIDAD DE ANALISIS**

- Muestras de suelo donde se realizó la actividad minera en el sector de Laberinto
- Muestras de Vegetación dentro del área de estudio del sector de Laberinto

### **4.4 POBLACION DE ESTUDIO**

- La población de comunidades de vegetación que se encuentra distribuida de manera dispersa, en la zona de la actividad minera dejada en el Sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, en un rango de 20 kilómetros de área total.

### **4.5 TAMAÑO DE MUESTRA DE LA POBLACION**

Se muestreo toda la población de vegetación existente en el área de estudio. El número de muestras de vegetación se determinó por los cuadrantes estratificados de suelo, el cual dependió de la existencia de vegetación en el punto en el caso de no existir se omitió la observación.

### **4.6 TECNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCION DE INFORMACION PARA SUELO**

#### **4.6.1 DETERMINACION DE PUNTOS DE MUESTREO**

El número de puntos de muestreo del suelo se realizó en un área de 20 km<sup>2</sup> obteniendo un total de 32 muestras de tipo estratificado, en dos épocas del año obteniendo un total de 64 muestras más 2 muestras centrales. Se decidió la toma de muestra siguiendo la guía para muestreo de suelo del MINAM del 2014; tomando 4 direcciones, este, oeste, norte y sur; se tomó como factor del estudio 8 distancias partiendo del centro del área de Estudio.

Se determino si el tamaño de muestra es el adecuado, para lo cual se obtuvo la potencia, para determinar si el tamaño de muestra es significativo para dar resultados adecuados. El proceso para determinar la potencia se realiza mediante curva estadística de operación el cual se realizó mediante el software MiniTab para lo cual se requiere conocer:

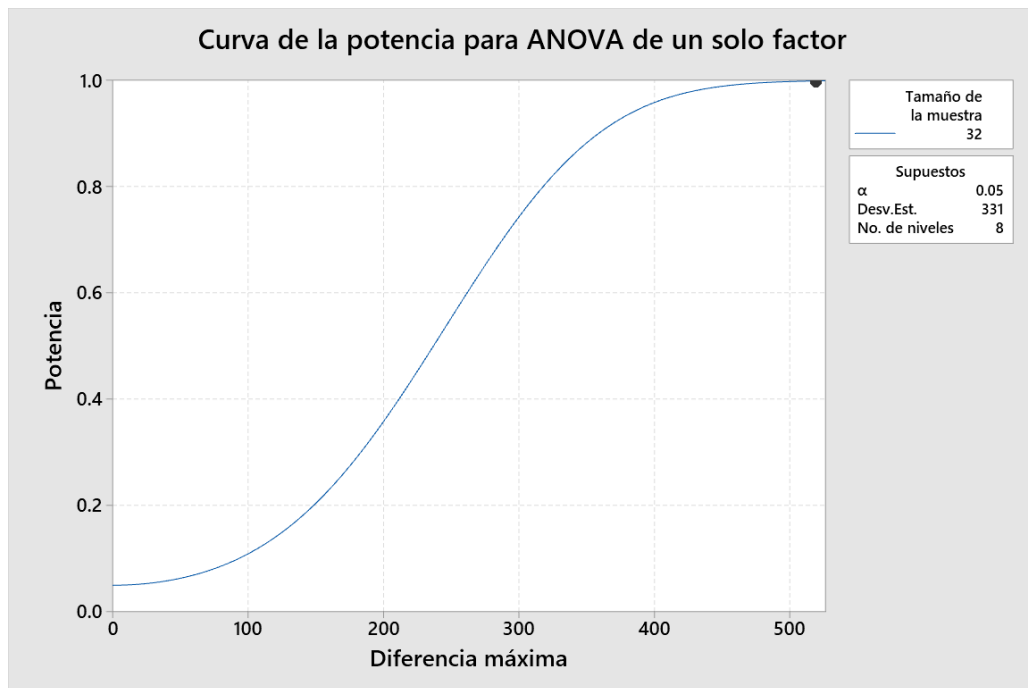
- *Numero de niveles = 8*
- *Repeticiones =4*
- *Tamaño de muestra  $4*8 = 32$*
- *Diferencia máxima entre las medias de los niveles:*

Se trabaja para la variable principal del experimento moles de Hg/L

**Tabla 2. Diferencia máxima entre las medias de los niveles**

niveles	Promedio de S-Hg-LL
1	679.0
2	590.3
3	559.8
4	687.0
5	1079.3
6	802.5
7	594.0
8	590.8
máximo	1079.3
mínimo	559.8
diferencia	519.5

- Diferencia máxima entre las medias de los niveles = 519.5
- Desviación estándar global = 331



**Ilustración 14. Curva de la potencia para ANOVA de un solo factor**

**Tabla 3. Potencia para ANOVA**

Diferencia máxima	Tamaño de la muestra	Potencia
519.5	32	0.998896

El experimento propuesto alcanza un nivel de confianza de 0.99 con un alfa de 0.05 siendo un experimento altamente aceptable indicando que las 32 muestras tomadas son suficientes para observar la diferencia en las concentraciones de mercurio dado 8 niveles de distancias dados

### Número mínimo de puntos de muestreo

Según la ubicación de los puntos de muestreo, se tiene un total de 33 muestras de suelo en un área de 20 km<sup>2</sup>, obteniendo un total de 4 cuadrantes, con 8 muestras cada una teniendo así 32 muestras de suelo más 1 muestra central, presentando los siguientes cuadrantes:

CUADRANTE	CODIGO
A	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

CUADRANTE	CODIGO
B	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

CUADRANTE	CODIGO
CENTRAL	0

CUADRANTE	CODIGO
C	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

CUADRANTE	CODIGO
D	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

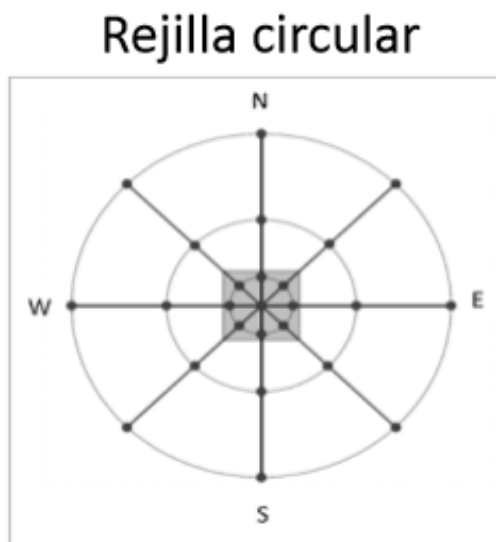
#### **4.6.2 RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO**

La recolección de muestras, tuvo como objetivo, obtener la cantidad de mercurio presente el suelo contaminado por la actividad minera, mediante muestras representativas, para así poder establecer que el suelo de la Localidad de Laberinto supera los estándares de calidad ambiental.

##### **4.6.2.1 Método de ubicación de los puntos de muestreo de suelo en la minera de la Localidad de Laberinto**

De acuerdo a la guía de muestro de suelos del Minam del 2014. El muestreo de identificación, ayuda a determinar la existencia de contaminantes en el suelo, por medio de la extracción de muestras, para así determinar, si el suelo supera los Estándares de Calidad Ambiental, establecidos en el D.S. N° 011-2017-MINAM. El muestreo de identificación, define los resultados y conclusiones del levantamiento o inspección del sitio técnico, donde se realizó la toma de muestras, así como la investigación histórica. Se realizó la toma de los puntos

de muestras de suelo, las que fueron identificadas, debido a que estas se encontraban en la zona de estudio de la minería de Laberinto, Tambopata, Puerto Maldonado. Se realizó un muestreo de manera aleatoria estratificada y/o sistemática (regular). Se amplió los patrones de muestreo, considerando el mecanismo y la distribución que se sospecha de la contaminación por el mercurio. Se tomó para dicha investigación el patrón de muestreo en forma de Rejilla Circular.



Fuente: Muestreo en forma de rejilla circular, Guía para el Muestreo del Suelos – MINAM 2014.

#### **4.6.3 TECNICAS DE RECOLECCION DE INFORMACION**

##### ***Método de extracción de muestras de Suelo***

###### **➤ Muestreo de Identificación (MI)**

Para el muestreo, se toma muestras representativas, las que ayudan a caracterizar el suelo en estudio; la muestra, es definida como parte representativa, que presenta las características o propiedades similares del material del suelo, que se está estudiando; y, aquellas muestras que serán enviadas al laboratorio, son las muestras elegidas, para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos. (Guía para el Muestreo del Suelos – MINAM 2014). Se realizó el muestreo representativo de muestras de suelo, para

determinar la existencia de contaminación del suelo con mercurio, estableciendo si sobrepasa o no los Estándares de Calidad Ambiental, dados por el D.S. N° 002-2013-MINAM. (Guía para el Muestreo del Suelos – MINAM 2014). También se consideró, los Límites Máximos Permitidos del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

#### ➤ **Muestras Superficiales**

Para las tomas de las muestras superficiales, se utilizaron sondeos manuales con una profundidad de un metro. Este sistema es práctico y rápido de usar, presenta un bajo costo, obteniendo pequeñas cantidades de suelo. Se obtuvieron muestras superficiales, realizando hoyos de 20 cm de ancho por 40 cm de largo y 30 cm de profundidad. (Guía para el Muestreo del Suelos – MINAM 2014).

#### **4.6.3.1 Manejo de las Muestras**

##### ➤ **Materiales para guardar y transportar muestras**

Las características del recipiente, para el envío de las muestras de suelo al laboratorio, fueron compatibles con el material del suelo y el contaminante en estudio, el material fue resistente a la ruptura y evitó reacciones químicas con la muestra del suelo, evitó las pérdidas por evaporación; según la guía para muestreo de suelos, los envases de vidrio con tapa de teflón son los más compatibles para el transporte de muestras con metales pesados. (Guía para el Muestreo del Suelos – MINAM 2014, pág. 25).

Las muestras fueron trasladadas en un culer para evitar el deterioro de estas.

#### **4.6.3.2 Conversión de partes por millón de mercurio a moles de mercurio**

Al obtener la concentración de mercurio en partes por millón, este debe ser convertido a moles de mercurio, para usar dichos datos en la fórmula de la Isoterma de Langmuir. Logrando así tener la Capacidad de Adsorción de mercurio en el suelo. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$M = \frac{\text{moles de Hg}}{L \text{ disolución}}$$

$$M = \frac{mg}{L} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1mol \text{ de Hg}}{mol \text{ atomo gr (200.59gr)}}$$

#### 4.7 TECNICAS DE SELECCIÓN DE MUESTRAS Y RECOLECCION DE INFORMACION PARA VEGETACION.

Se recolecto el 100% de vegetación en los puntos donde se encontró vegetación

##### 4.7.1 DETERMINACION DE LOS PUENTOS DE MUESTREO

El estudio, es de tipo descriptivo y comparativo, se obtuvo la información in situ de la distribución de la vegetación en el área de estudio, el cual, verificó la presencia de mercurio en la vegetación, en el rango establecido del área de intervención de los 20 km<sup>2</sup>.

Se estructuró en gabinete una leyenda preliminar del mapa detallado de vegetación, el mismo que fue ajustado, luego de realizar el inventario florístico; el método de ubicación de las muestras es Sistemático estratificado. Este muestreo implica la existencia de una distribución de muestras, según un patrón sistemático dentro de cada estrato. Detecta si existe modificaciones en cada estrato, su aplicación es sencilla, la que depende de las condiciones durante el muestreo. (Guía de Inventario de Flora y Vegetación, MINAM, 2015)

CUADRANTE
A

CUADRANTE
B

CUADRANTE
C

CUADRANTE
D

## 4.7.2 RECOLECCION DE MUESTRAS VEGETALES

### 4.7.2.1 Método de extracción de muestras de Vegetación

Se realizó, un muestreo aleatorio simple, esta dependió, de la presencia de vegetación en el área de estudio. El tamaño de la unidad muestral mínima, se basó en el “área mínima de la comunidad”, es decir, que, por cada comunidad vegetal, existe una superficie por debajo la cual no puede ser expresada (Matteucci y Colma, 1982).

El muestreo fue de tipo “cuadrante”, el cual se basa, si en el área de estudio se encuentra vegetación herbácea, arbustiva o arbórea; tomando así la medida de 1m<sup>2</sup> en caso de vegetación herbácea, 4m<sup>2</sup> en especies arbustivas y 25m<sup>2</sup> en caso de vegetación arbórea, se observó la especie con mayor dominancia, en el área establecida donde se tomó una muestra de la raíz, tallo, hojas y frutos. (Guía de Inventario de Flora y Vegetación, MINAM, 2015)

Los puntos de muestreo, y el tamaño de la muestra dependió, de la presencia de vegetación en cada punto del área de estudio, se realizó el reconocimiento del área de estudio, siendo muestreadas las especies representativas y abundantes en cada punto de muestreo, cabe señalar que en muchos de los puntos de muestreo no se encontró vegetación.

Se realizó la extracción de vegetación para el análisis de mercurio en dichas especies, por lo que se tomó un total de 500 gr de muestras de vegetación representativa por punto de muestreo, para ser llevadas a laboratorio.



### ➤ Manejo de las Muestras

Las muestras vegetales recolectadas para el análisis de mercurio fueron colocadas en bolsas de ziploc, herméticamente cerradas, para evitar la pérdida de humedad, las cuales fueron colocadas en recipientes especiales culers para el traslado al laboratorio.

#### ***4.7.2.2 Método de recolección de muestras de Vegetación para identificación taxonómica***

Se realizó la extracción de muestras vegetales para su identificación taxonómica. Las cuales fueron llevadas al Herbario Vargas Cuz de la Universidad de San Antonio Abad del Cusco, para su respectiva identificación.

Para una buena colecta, se toma en cuenta, las características de cada planta. Los ejemplares, tuvieron en lo posible las partes vegetativas, como son la raíz, tallo, hojas y estructuras reproductoras como flores y frutos (Manual de Técnicas de Curación y Preservación para un Herbario de Malezas, SENASICA, 2019).

**PRENSADO:** El prensado, ayudó a eliminar toda el agua existente en las muestras vegetales. Se colocó en un pliego de papel periódico o de papel filtro. Los pliegos se fueron colocando, unos sobre otros de manera ordenada, pudiendo introducir entre ellos, varios papeles de periódico o almohadillas secantes, para facilitar la extracción de la humedad. Una vez terminado el proceso, se preno. (Manual de Técnicas de Curación y Preservación para un Herbario de Malezas, SENASICA, 2019).

**SECADO:** Es la parte más delicada en la extracción de la humedad de una muestra vegetal, la que condicionará la longevidad de las muestras, así como su calidad, debido a que, este evita su descomposición y destrucción por parte de agentes infectivos. (Manual de Técnicas de Curación y Preservación para un Herbario de Malezas, SENASICA, 2019).

Después de la realización del secado las muestras fueron llevadas al Herbario Vargas Cuz, donde fueron identificadas taxonómicamente (Anexo 16).

#### ➤ **Manejo de las Muestras**

Las muestras obtenidas para la identificación según taxonómica, se las colocó en papel periódico colocadas unas encima de otras para finalmente ser selladas en cartón y amarradas por medio de rafia para poder trasladarlas para su reconocimiento.

### **4.8 TECNICAS PARA ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **4.8.1 ANALISIS DE ABSORCION ATOMICA**

Para la interpretación de la concentración de mercurio de las muestras obtenidas de suelo y vegetación, se realizó mediante la Espectrofotometría de absorción atómica, utilizando el método EPA METHOD 7471B, la cual fue enviada a laboratorio para su respectivo análisis. (Anexo 6)

#### **4.8.2 ANÁLISIS FISICOQUIMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO**

Se realizó los siguientes análisis, (Anexo 12):

- Textura (2540-D Gravimetría)
- Porosidad (Método volumétrico)
- Materia Orgánica, (método de ignición)
- Determinación de Fosforo (método de Bray y Kurtz, 1945)
- Determinación de Potasio (método de OLSEN por medio de fotometría)
- Determinación de Nitrógeno (método Micro-Kjeldahl (modificado por Bremmer, 1965)
- pH, (4500-H`B. Método electrométrico)
- Humedad, (2540-D Gravimetría)
- Conductibilidad Eléctrica (conductímetro) etc

#### 4.9 TECNICAS DE DEMOSTRACION DE LA VERDAD O FALSEDAD DE LAS HIPOTESIS PLANTEADAS

Se utilizó los siguientes análisis estadísticos, basándose en los objetivos planteados.

- Para la distribución y capacidad de adsorción del mercurio en suelo y vegetación se utilizó el siguiente análisis estadístico:
  - ANOVA. – Este diseño permite estudiar al mismo tiempo los efectos de dos fuentes de variación.
  - Correlacion de Pearson. – este diseño estudia la dependencia lineal de dos variables aleatorias independiente de la medida de las variables.
  
- Para el análisis físico y químico de las muestras de suelo se utilizó el siguiente análisis estadístico:
  - Regresión Lineal. – Este diseño aproxima el grado de dependencia, que existe, entre una variable dependiente “Y” y “m” variables independientes “X” con  $m \in \mathbb{Z}^+$  y con un término aleatorio  $\epsilon$ .
  
- Para determinar el porcentaje de acumulación de mercurio en las plantas en razón a la concentración del mercurio en el suelo se utilizó el siguiente análisis estadístico:
  - ANOVA. - Este diseño permite estudiar al mismo tiempo los efectos de dos fuentes de variación.

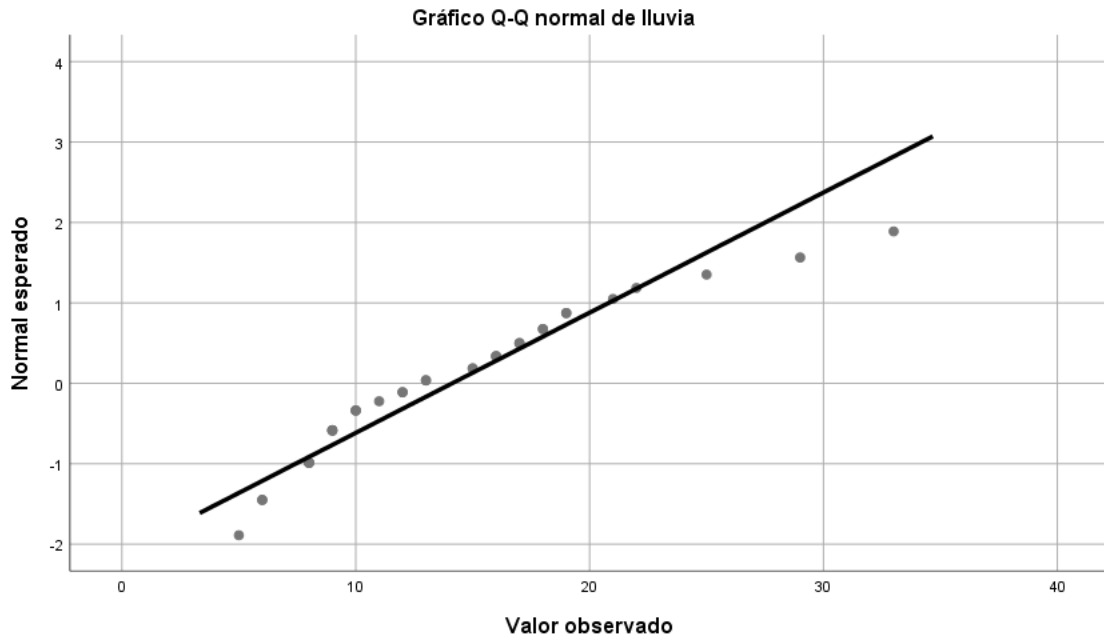
#### Pruebas de normalidad de Kolmogorov Smirnov

Dada la a muestra superior a 30 datos de 66 mediciones realizadas se usó la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov encontrando:

**Tabla 4 prueba de normalidad de Kolmogorov**

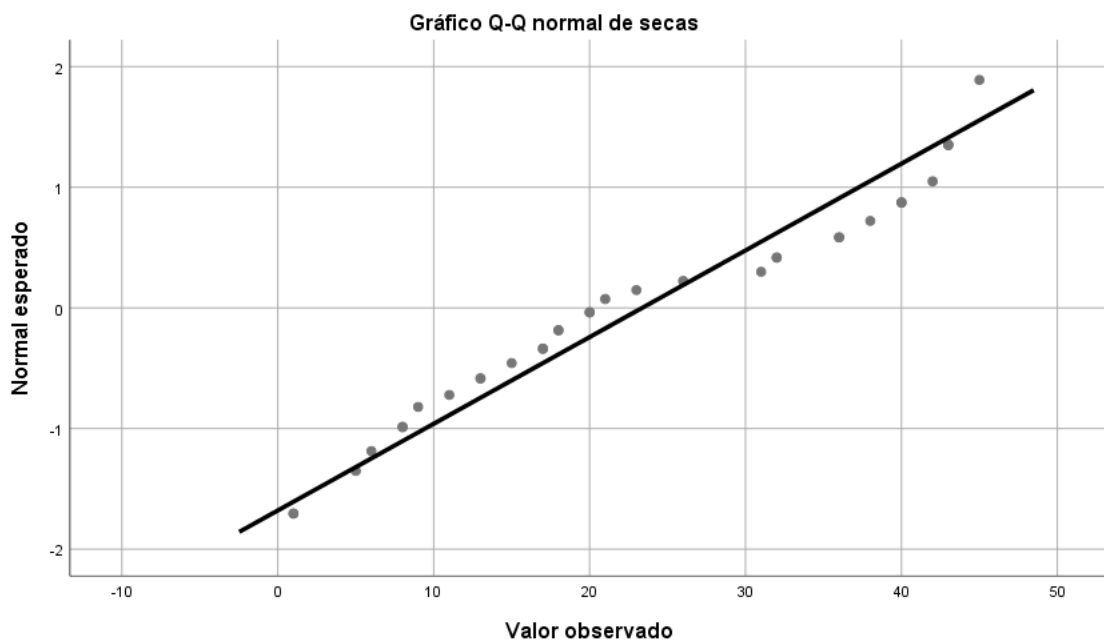
Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			
	Estadístico	gl	Sig.
lluvia	,125	33	,200*
secas	,121	33	,200*

Con un sig de 0.20 se acepta que sigue una distribución normal lo cual se puede evidenciar también que la gráfica de QQ normal donde los puntos de observación en su mayoría se encuentran en la línea normal.



**Ilustración 15. Q-Q normal en época de lluvias**

Se observa que la mayoría de los puntos se encuentran en la línea normal



**Ilustración 16. Q-Q normal en época de secas**

Se observa que la mayoría de los puntos se encuentran en la línea normal.

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### ***A. Evaluar la distribución y capacidad de adsorción de mercurio en el suelo impactado por la actividad dejada por la minería en dos épocas del año en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios.***

Para la evaluación de la distribución y capacidad de adsorción de mercurio en el suelo impactado por la actividad minera, se procesó la siguiente información.

#### **A.1 Concentración de mercurio suelo.**

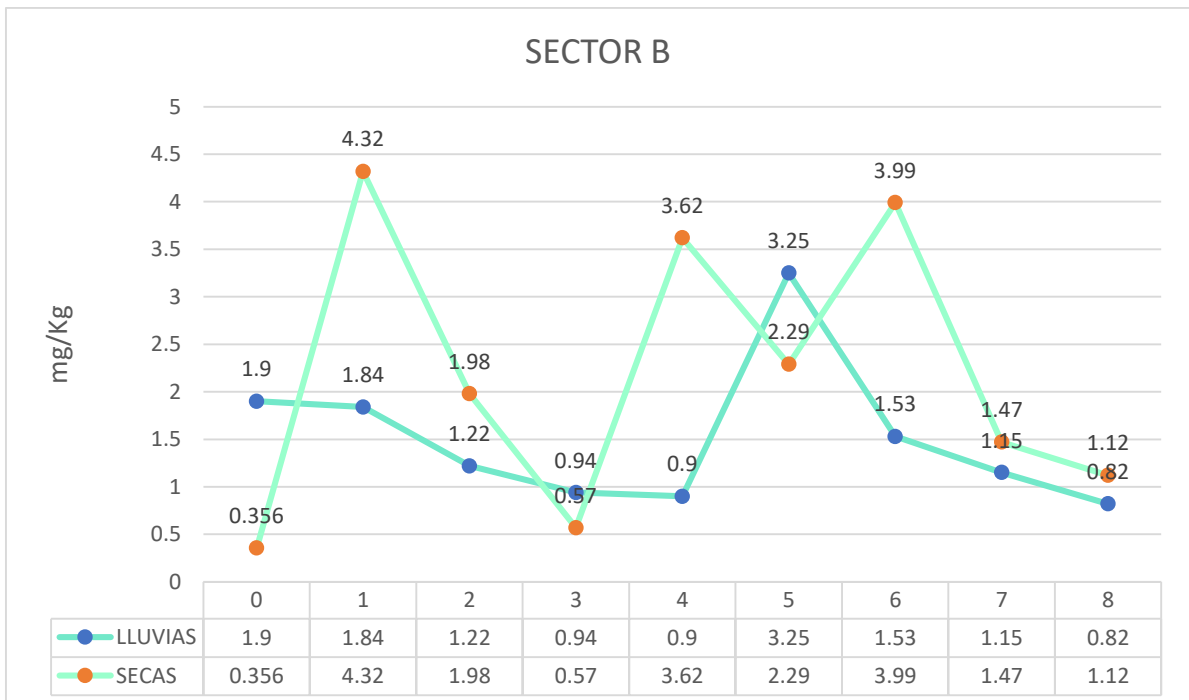
Los datos de concentración de mercurio se presentarán por cuadrantes tanto en época de lluvias como de secas. Los datos obtenidos en laboratorio se encuentran en mg/kg (Anexo 7).

Según la información obtenida en el (Anexo 7) nos indica que la distancia central de la explotación minera representada con código 0 hasta la distancia más alejada código 8, se observa que la muestra central O presenta una concentración alta de mercurio, donde la muestra 4 y 5 en época de secas presenta una elevada concentración de mercurio, esto puede deberse a que existe un movimiento de tierras de manera constante generando la presencia de posas en activo el cual se puede ver la ilustración N°17. En época de lluvia se observa que la concentración disminuye en casi todos los puntos.



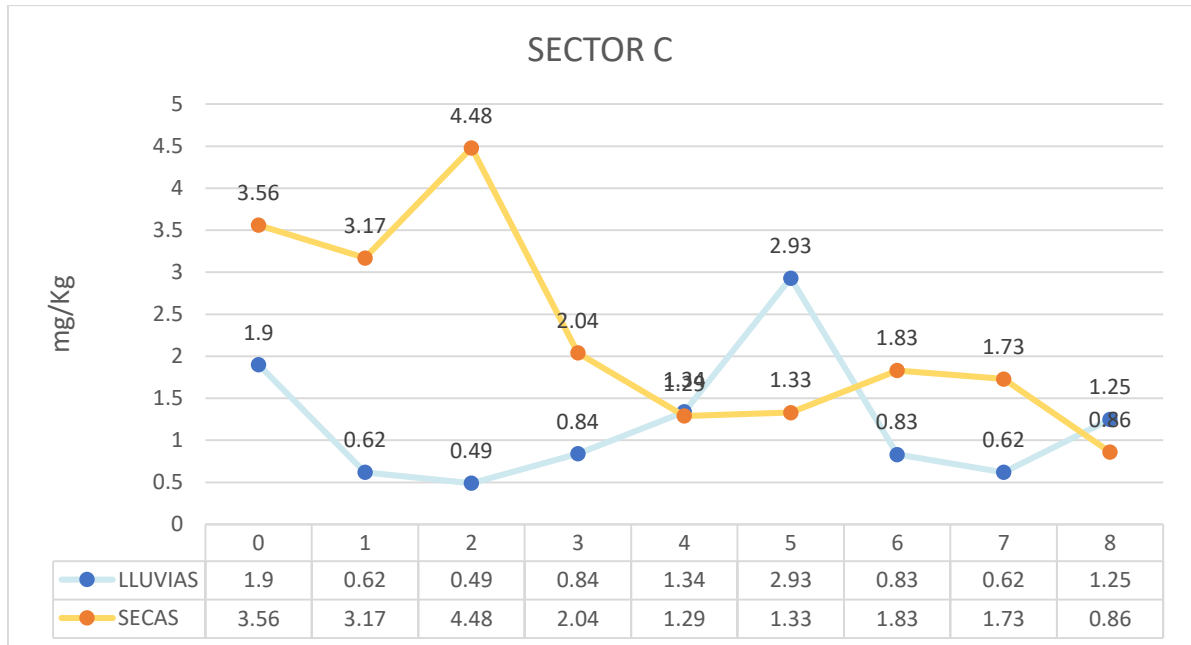
**Ilustración 17. Concentración de Mercurio del cuadrante A**

Los datos obtenidos en el (Anexo 7) como se indica en la ilustración N°18 indica la concentración de mercurio es más altas en la parte central de la explotación minera, encontrándose concentraciones elevadas en patrones un cuanto aparentemente errático en el punto 4, 5 y 6.



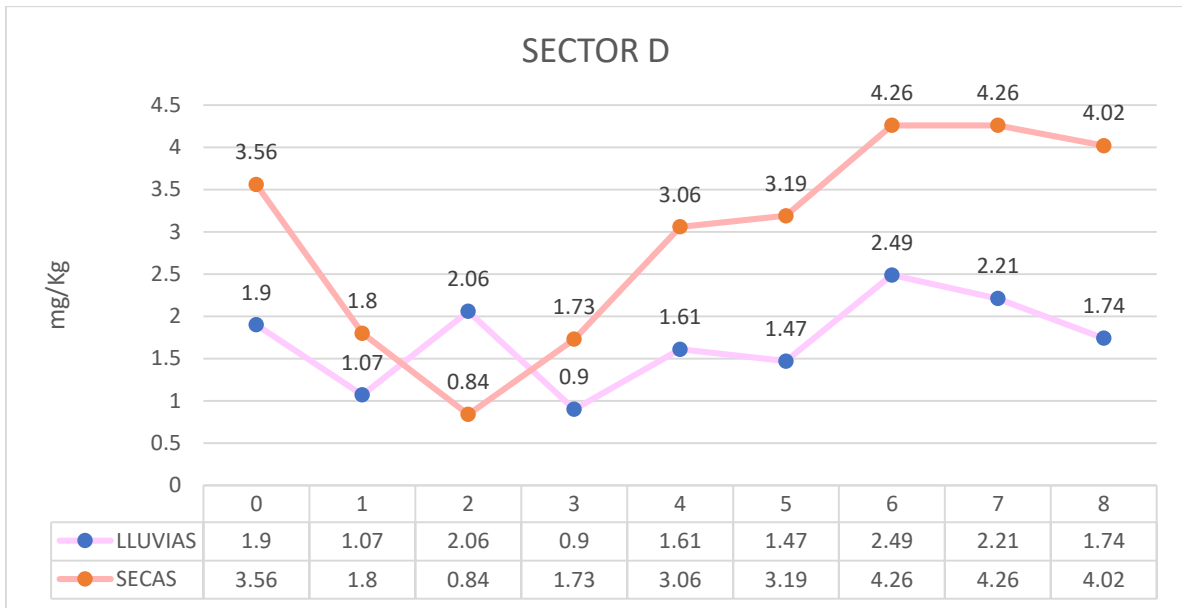
**Ilustración 18. Concentración de Mercurio en el cuadrante B**

Los datos obtenidos en el (Anexo 7) nos muestra en la ilustración N°19, que las concentraciones más altas son próximas al centro de la explotación minera y este va disminuyendo a medida que se aleja del punto central, exceptuando del punto 5 en época de lluvias.



**Ilustración 19. Concentración de Mercurio en el cuadrante C**

La ilustración N° 20 nos brinda información del sector D, la cual nos indican que la concentración de mercurio crece partiendo del punto de muestreo número 2 el, es decir la concentración de mercurio aumentan a medida que se aleja del punto central del área de estudio.



**Ilustración 20. Concentración de Mercurio en el cuadrante D**

El nivel permitido por el ministerio del ambiente MINAM, determina las cantidades de mercurio en el suelo según Resolución ministerial N° 182-2017-MINAM que el nivel máximo de mercurio permitido en suelos agrícolas es de 6.6 mg/kg MS<sub>2</sub>; también se realizó la comparación con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del 2002, donde el estandar de calidad de mercurio es 1.4 mg/kg MS<sub>2</sub>. Dichos datos nos permiten realizar comparación con las concentraciones encontradas en las muestras.

En el análisis de los datos se encontró que la muestra con más concentración de mercurio es la de 4.48 mg/kg en el punto C2 en la época de secas. Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) el estandar de calidad es de 1.4 mg/kg donde la mayoría de las muestras obtenidas superan el estándar de calidad en suelos.

En los cuadros anteriores se observaron las mediciones de concentración de mercurio realizadas y su comportamiento; con los datos obtenidos se plantea la distribución del mercurio y los niveles de concentración de este por épocas tanto de lluvias como de secas



**Tabla 5. Concentración promedio de mercurio por época**

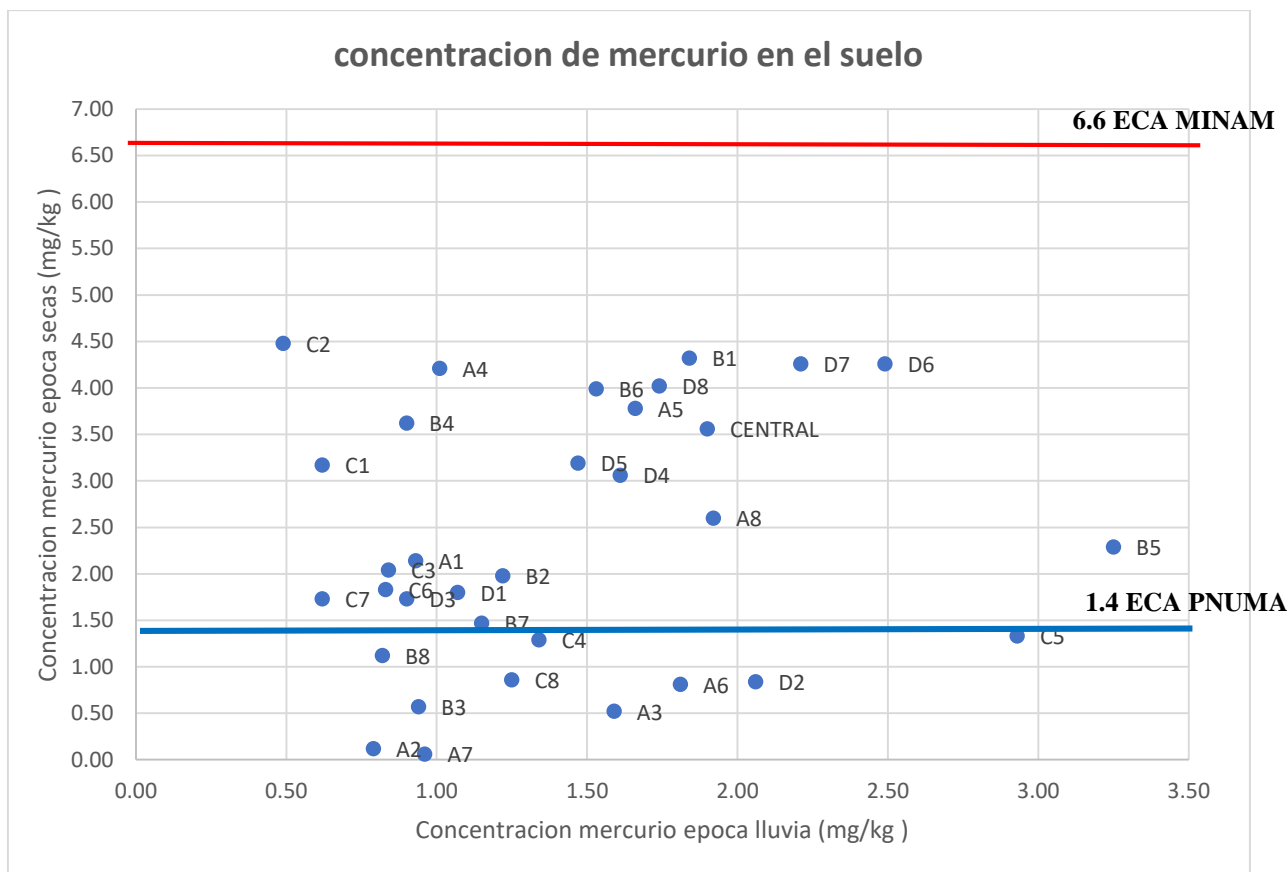
	N	Media (mg/kg MS2)	Desv.	t	gl	Sig.
Hg-Lluvia	33	1.4	0.07	-44.87	32	,999
Hg-Secas	33	2.3	0.14	-17.69	32	,999

*Nota: prueba t para la media  $\mu=0.66$*

La concentración de mercurio en épocas de secas es superior al de épocas de lluvias.

### **Relación en entre concentración de mercurio y capacidad de adsorción por época**

Ilustración N°21 muestra la concentración de mercurio tanto en épocas de secas como en épocas de lluvias en (mg/Kg). Comparando las normativas de los estándares de calidad ambiental de la PNUMA con 1.4 mg/Kg y la normativa peruana del MINAM con 6.6 mg/Kg. Se observa que la mayor cantidad de muestras superan los estándares de calidad ambiental, con más del 70% de muestras de suelo contaminadas con mercurio según el PNUMA, pero no así para los estándares de calidad ambiental establecido por el MINAM donde ninguna muestra supera dichos estándares.



**Ilustración 21. Concentración de mercurio en cada punto de muestreo de suelo en época de lluvia y secas**

Al realizar una correlación de Pearson para la concentración de mercurio en el suelo tanto en épocas de Lluvias como de Secas, se obtiene un valor no significativo (Anexo 8), es decir, que no necesariamente los sectores contaminados en época de secas seguirán contaminados en época de lluvias, esto nos informa que los factores externos son de mayor importancia en las concentraciones de mercurio, como también indica que la época de lluvia dispersa fuertemente el mercurio en el área de estudio.

Según la información obtenida en las Tablas N°5. El suelo impactado por la actividad Minera en el Sector de Laberinto presenta concentraciones promedio de 0.14 mg/kg en la época de lluvias y de 0.23 mg/kg en épocas de secas encontrando con una significancia para las dos temporadas de 0.999 indicando la concentración de mercurio promedio del sector no excede los estándares de calidad ambiental establecidos por el ministerio del ambiente, pero si en los estándares de calidad ambiental de la PNUMA.

Acepta la Hipótesis nula para la concentración de mercurio en el suelo del área de estudio el cual no excede los estándares de calidad ambiental establecidos según el Minam con un valor bajo de significancia, pero se rechaza la hipótesis para Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del 2002 (ANEXO 4)

## A.2 Capacidad de adsorción de mercurio suelo.

Para la obtención de la Capacidad de Adsorción de cada uno de los puntos de muestreo de suelo, se utilizó la fórmula de la Isoterma de Lagmuir (Anexo 10). Para lo que se transformó la concentración de mercurio de mg/kg a moles. Obteniendo las mediciones promedio de la capacidad de adsorción del suelo que se detalla a continuación.

**Tabla 6. Medición promedio de la Capacidad de Adsorción de suelo en épocas de Lluvias**

Puntos de muestreo	(q) Época de LLUVIAS				promedio
	A	B	C	D	
1	-6759.4				<b>-6759.4</b>
2	-6830.8	-6545.3	-2205.6	-3804.4	<b>-4846.5</b>
3	-3419.0	-4339.8	-1741.6	-7351.9	<b>-4213.1</b>
4	-6438.3	-3347.6	-2990.7	-3204.9	<b>-3995.4</b>
5	-5910.1	-3204.9	-4768.0	-5731.6	<b>-4903.6</b>
6	-3597.4	-11563.2	-10421.1	-5232.0	<b>-7703.4</b>
7	-5660.2	-5446.1	-2955.0	-8850.8	<b>-5728.1</b>
8	-2812.3	-4089.9	-2205.6	-7851.5	<b>-4239.8</b>
9	-3311.9	-2919.3	-4446.8	-6188.4	<b>-4216.6</b>
<b>promedio</b>	<b>-4747.5</b>	<b>-5182.0</b>	<b>-3966.8</b>	<b>-6026.9</b>	<b>-5034.7</b>

Promedio de la capacidad de Adsorción en muestras de suelo en épocas de lluvias

**Tabla 7. Medición promedio de la Capacidad de Adsorción de suelo en épocas de Secas**

Punto de muestreo	(q) Época de SECAS				promedio
	A	B	C	D	
1	-12633.8				<b>-12633.8</b>
2	-9279.1	-15346.2	-11277.7	-6402.6	<b>-10576.4</b>
3	-213.4	-7045.0	-15917.2	-2990.7	<b>-6541.6</b>
4	-2883.7	-1770.2	-7280.5	-6152.7	<b>-4521.8</b>
5	-26980.7	-12848.0	-4589.6	-11134.9	<b>-13888.3</b>
6	-14989.3	-8137.0	-4732.3	-11349.0	<b>-9801.9</b>
7	-1848.7	-14204.1	-6509.6	-15132.0	<b>-9423.6</b>
8	-426.8	-5232.0	-6152.7	-15132.0	<b>-6735.9</b>
9	-7566.0	-3982.9	-3062.1	-14275.5	<b>-7221.6</b>
<b>promedio</b>	<b>-8023.5</b>	<b>-8570.7</b>	<b>-7440.2</b>	<b>-10321.2</b>	<b>-8711.5</b>

Promedio de la capacidad de adsorción de muestras de suelo en época de Secas.

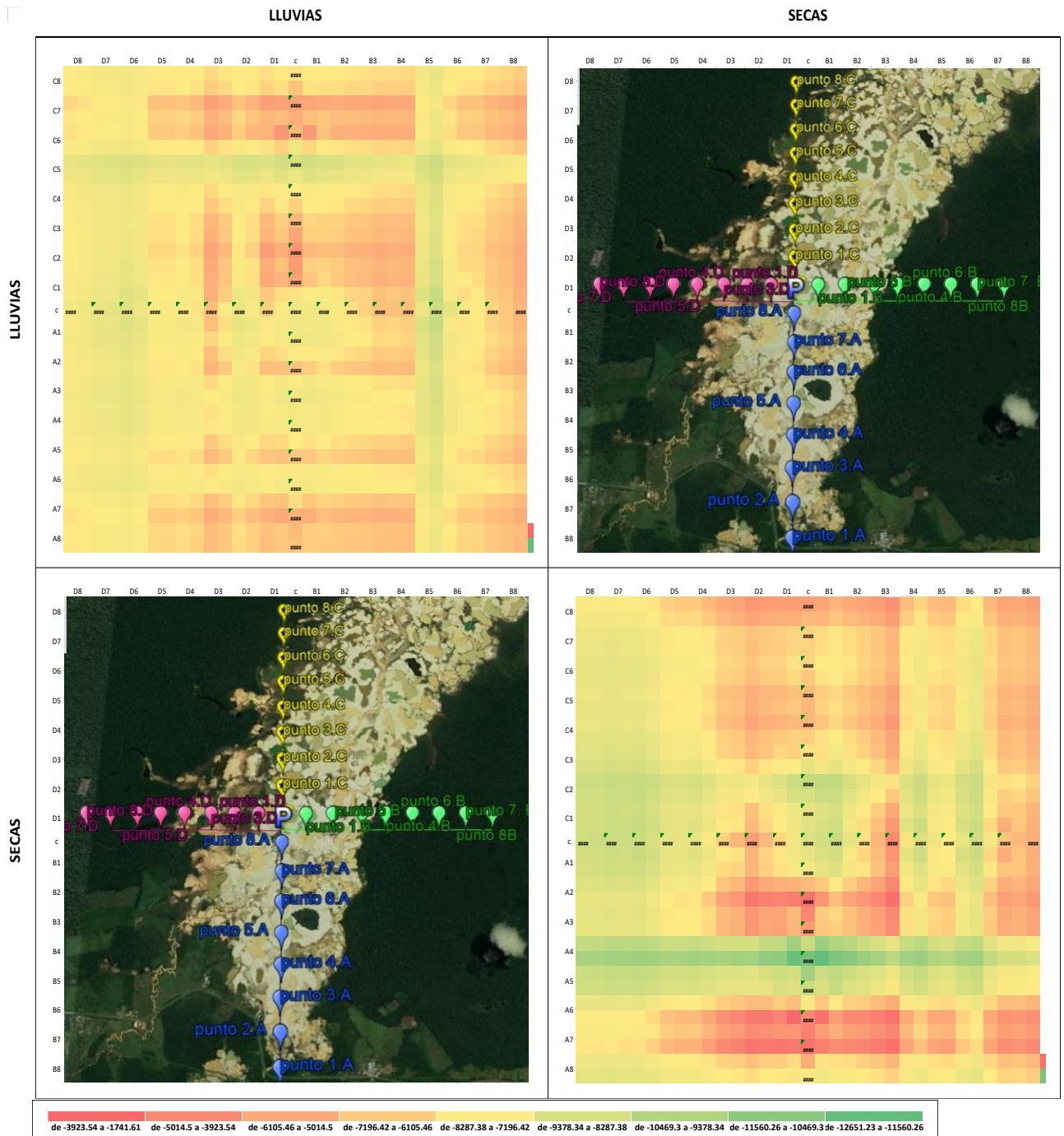
La capacidad de adsorción (q) del suelo está estrechamente relacionada con la concentración de mercurio encontrando una reciprocidad, que por cada mol de Hg/L se encuentra  $-7.13775$  (q) esto en la escala de  $10^{-9}$ . Lo cual indica ser una relación con signo negativo, *que a mayor concentración de mercurio será menor la capacidad de adsorción*; de manera proporcional por cada mol de mercurio, la capacidad del suelo de recibir mercurio disminuye en  $7.13775$  de su capacidad de adsorción de mercurio. Por lo que se rechaza la hipótesis nula de la capacidad de adsorción del suelo del área de estudio debido a que presenta un nivel de significación alta (Anexo 4)

Según las Tablas N°6 y 7, Se observa que la capacidad de adsorción disminuye en la época secas con  $-8711$  y en época de lluvias de  $-5034$ . No existe una relación clara que la capacidad de adsorción aumente o disminuya a medida que se aleje del punto central del área de estudio.

De acuerdo a los sectores, se encuentra que el sector D es el que presenta menor capacidad de adsorción, lo cual se observa para una mejor interpretación por sectores en el mapa de calor de la capacidad de adsorción, que se presenta a continuación:

En la ilustración N° 22 se observa que los tonos verdes representan un nivel de capacidad de Adsorción muy bajos y los tonos rojos indica una capacidad de adsorción altos en los rangos de -3923 a 11560.

Se observa que la relación de las concentraciones de mercurio con la capacidad de adsorción de este metal, pero de relación inversa donde los sectores con alta concentración de mercurio presentan bajos niveles de capacidad de adsorción



**Ilustración 22. Capacidad de adsorción de Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera**

***B. Determinar la distribución, la concentración y la capacidad de adsorción del Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera en un rango de 20 km<sup>2</sup> dentro del área directa de influencia.***

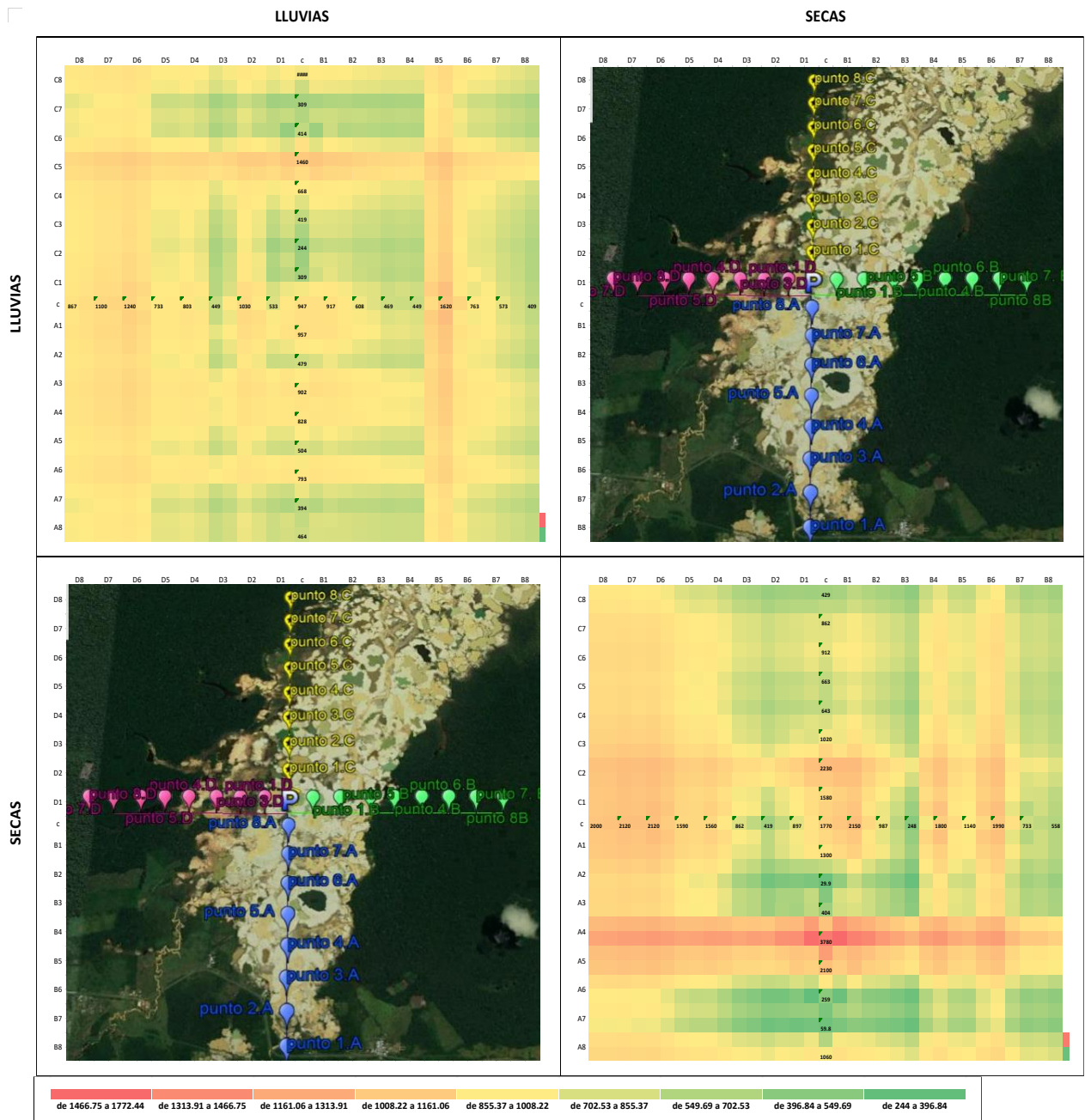
Se plantea que el centro de la minera del área de estudio es el punto más contaminado de mercurio, por lo que se utilizó la técnica de ANOVA (Anexo 11) para la verificación de este punto tomando como factor la distancia a partir del centro, tanto en épocas de lluvias como en épocas de secas, donde se obtiene con un p-valor de 0.47 para ANOVA, de la distancia del centro de concentración de mercurio en época de secas y de 0.39 para para la época de lluvias. Por lo que no existe diferencia significativa en los promedios de mercurio por la proximidad al centro de la explotación minera.

Viendo los promedios por distancia se encuentra una distribución de la concentración de mercurio inusual encontrando alta concentración en la época seca en el punto medio y en la distancia 4, y en época de lluvia con alta concentración para la distancia 5. La distribución del mercurio no se reduce a medida que se aleja del punto central de la extracción de la minería. Para poder identificar de manera adecuada la concentración de mercurio se realizó un mapa de calor generado con las muestras mediante la interpolación de los puntos.

En la ilustración N°23 de mapa de calor, se observa la distribución aproximada de las concentraciones de mercurio en el sector laberinto, encontrando que estas pueden oscilar de 0.006 a 0.45 mg/kg donde los valores de tonalidad rojo representan las más altas concentraciones de mercurio y tonos verdes las más bajas, viéndose que los cuadrantes de tono de rojo disminuyen notablemente en época de lluvias probando que existe una diferencia de la concentración de mercurio en la época de lluvias, debido a que, está dispersa la concentración de mercurio de manera notoria. Se pudo observar que el centro de la explotación minera del área de estudio no contiene la mayor concentración de mercurio.

Encontramos que el punto más relatante en rojo se encuentra en los sectores 2C, 4B y 6B donde existe posas de lavado de mercurio.

Todo el sector D presenta un comportamiento inusual donde la parte con vegetación presenta concentraciones de mercurio en suelo en un tono leve de rojo. Los sectores menos afectados por concentraciones de mercurio se hallan en las partes con vegetación de los sectores A, B y C, que son las zonas más alejadas del centro de la explotación minera.



**Ilustración 23. Concentración de Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera.**

Por lo que se acepta la Hipótesis nula, p valor no existe diferencia significativa en la distribución del mercurio en el suelo del área de estudio (ANEXO 4).

***C. Relacionar las características físicas y químicas con la concentración del mercurio del suelo en el área de estudio.***

**C.1 Características físico-químicas y mercurio en suelo.**

Para la evaluación de las características físico químicas del suelo solo se tomó un total de 17 muestras las cuales fueron seleccionadas de manera intercalada.

Para las características físico químicas se presenta el siguiente resumen:



**Tabla 8. Características Físico Químicas del suelo**

ID	0	A-2	A-4	A-6	A-8	B-2	B-4	B-6	B-8	C-2	C-4	C-6	C-8	D-2	D-4	D-6	D-8	promedio	desv.	C.V.
Conductividad	80	80	120	40	260	130	100	160	100	150	380	120	60	100	80	180	380	<b>148.24</b>	98.05	<b>0.66</b>
pH	5	5.9	6	5	6.5	6.4	6.4	5.5	6.7	5.8	5.1	6.2	6.6	5.8	6.7	5.9	6.8	<b>6.02</b>	0.58	<b>0.10</b>
Densidad aparente	1.6	1.23	1.67	1.5	1.56	1.44	1.27	1.12	1.62	1.35	1.2	1.11	1.63	1.58	1.66	1.34	1.38	<b>1.43</b>	0.19	<b>0.13</b>
Densidad real	2.4	2.01	2.44	2.3	2.2	2.24	2.35	2.43	2.2	1.87	1.9	1.85	2.2	2.12	2.5	2.1	2.2	<b>2.19</b>	0.20	<b>0.09</b>
Humedad	6.5	3.5	9	7	2.5	9.6	15	8	7.5	8.6	12	5.4	2.5	5.7	7	10.2	14.5	<b>7.91</b>	3.54	<b>0.45</b>
Humedad Equ.	7	9	13	7	8	14	21	19	7	8	10	6	7	8	8	10	27	<b>11.12</b>	5.76	<b>0.52</b>
Nitrógeno	0.05	0.05	0.07	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.1	0.03	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03	<b>0.03</b>	0.02	<b>0.78</b>
Materia orgánica	1	0.4	0.4	0.3	0.6	0.8	0.6	0.5	0.1	1.2	2	0.4	0.1	0.5	0.1	0.5	0.6	<b>0.59</b>	0.45	<b>0.76</b>
Arena	95.5	85	76	91.6	87	91	18.3	45	89	77	60.2	86.4	99.3	83	88.6	35	15.3	<b>71.95</b>	26.24	<b>0.36</b>
Arcilla	1.5	5.2	4.8	3.9	0.1	3.5	2.5	3	0.1	1.65	2.97	4	0	0.5	0	7	16.5	<b>3.37</b>	3.85	<b>1.14</b>
Limo	3	9.8	19.2	4.5	12.9	5.5	79.2	52	10.9	21.4	36.8	9.6	0.7	16.5	11.4	58	68.2	<b>24.68</b>	23.95	<b>0.97</b>

Tabla N°8 de características físico químicas obtenidas de un total de 17 muestras seleccionadas de manera intercalada por sector. Obteniendo un promedio de un total de 15 parámetros físicos químicos. El coeficiente de variación C.V. indica que tan parejo es el compuesto en la superficie estudiada encontrando los siguiente:

- La característica más variable para el suelo son las características físicas siendo la clase textura “arcilla” la que presenta un coeficiente de variación 1.14.
- Las características más homogéneas, se encontró la densidad real del suelo con un promedio de 2.19, seguido de el pH con un coeficiente de variación de 0.10, presentado un nivel bajo alcalino en la mayoría del suelo.

Se realiza el siguiente cuadro por clase de textura del suelo encontrando los siguientes resultados:

**Tabla 9. Clase textural**

	<b>Arenoso</b>	<b>Arenoso Limoso</b>	<b>Limoso</b>	<b>Limoso arcilloso</b>
<b>n</b>	12	1	2	2
<b>%</b>	71%	6%	12%	12%

La tabla N°9 indica que el suelo en su mayoría es arenoso en el 71% del área de estudio seguido de limoso y limos arcillosos. La capacidad de intercambio catiónico meq/100 encontrando en promedio es de 8.33 meq/100.

Tomando estas consideraciones del suelo de del área de estudio de extracción minera en el sector de Laberinto, se plantea la correlación de la concentración promedio de mercurio con las características Físico químicos (ANEXO 13) mediante la Correlación de Pearson, obteniendo:

- En época de lluvia no existe correlación de nivel significativo, pero si coeficientes ligeramente altos. En época de secas se encontraron valores significativos.
- A mayor densidad real y aparente se encuentra mayores concentraciones de mercurio;
- A menor pH, mayor concentración de mercurio.
- Menor porcentaje de arena en el suelo mayor concentración de mercurio.
- Mayor concentración de limo en el suelo mayor concentración de mercurio.

- La humedad del suelo está relacionada con la concentración de mercurio en el suelo, siendo estas relaciones de manera significativa en época de seca.
- En todas las características físicas del suelo nos afirma que el agua es un factor importante en la propagación del mercurio.

Las características físico químicas tienen efectos distintos en las concentraciones de mercurio variando por época tanto de lluvias como de secas.

Se rechaza la hipótesis nula, debido a que existe relación entre la adsorción de mercurio por las características físico químicas (ANEXO 4)

#### ***D. Determinar la concentración de mercurio en las plantas en el área de estudio.***

##### **D.1 Riqueza de Taxas en el área de Estudio**

La explotación minera crea una devastación en la flora del lugar de extracción de los 20km<sup>2</sup> del área total de estudio, esta genera la escases de vegetación, producido por la tala indiscriminada para la obtención del metal oro; se obtuvo un total de 21 muestras de vegetación, 11 muestras de vegetación en época de lluvia y 10 muestras de vegetación en épocas de secas.

Se realizó la Determinación Taxonómica a cargo del Herbario Vargas Cuz (ANEXO 16), se obtuvo las siguientes familias y especies, con su respectiva relevancia:

**Tabla 10. Riqueza de Taxas por familias del área de estudio**

RELEVANCIA	ÉPOCA			
	Lluvia		Secas	
	Familia	Especie	Familia	Especie
ESCASO	<b>Urticaceae</b>	Cecropia sp	<b>Urticaceae</b>	Cecropia sp
	<b>Cyatheaceae</b>	Cyathea sp	<b>Cyatheaceae</b>	Cyathea sp
	<b>Zingiberaceae</b>	Hedychium coronarium J. Koenig	<b>Euphorbiaceae</b>	Mabea sp
	<b>Cannaceae</b>	Canna sp		
	<b>Euphorbiaceae</b>	Aparisthmium cordatum (A. Juss.) Baill		
ABUNDANTE	<b>Fabaceae</b>	Senna cf. reticulata (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	<b>Fabacea</b>	Bauhinia sp
	<b>Poaceae</b>	Brachiaria sp	<b>Poaceae</b>	Brachiaria sp

Tabla N° 10 nos indica la riqueza de taxas obtenidas en el área de estudio según la relevancia sean en Escaso y Abundante en las dos épocas del año tanto lluvias como en secas. Se observa que muchas de las especies de vegetales persisten tanto en época de lluvias como en épocas de secas; siendo las más significativas las especies de las Familias: Fabaceae y Poaceae

En el caso de la época de secas no se encontró especies de las familias Zingiberaceae y Cannaceae debido a las características que estas especies presentan.

## **D.2 Concentración de Mercurio en vegetación**

El límite establecido de Mercurio en la vegetación varía de 0.02 mg/Kg a 0.9 mg/Kg, según el parlamento europeo de la Unión Europea (Reglamento (UE) 2018/73 de la comisión), lo que nos permite realizar una comparación para determinar si la vegetación encontrada en el área de estudio presenta concentraciones de mercurio significativa.

**Tabla 11. Concentración de Mercurio en plantas moles Hg/L \*10<sup>-9</sup> en épocas de lluvias y secas**

EPOCA DE LLUVIAS					EPOCA DE LLUVIAS				
CUADRANTE					CUADRANTE				
	A	B	C	D		A	B	C	D
distancia 0	–				distancia 0	–			
1	–	–	–	–	1	–	1.06	–	–
2	–	–	–	–	2	–	–	–	–
3	–	–	–	–	3	–	–	1.14	–
4	–	–	–	–	4	9.31	–	–	–
5	–	0.93	–	–	5	–	–	–	1.18
6	–	1.10	–	1.34	6	–	–	–	1.44
7	0.55	1.27	1.04	0.59	7	–	1.39	–	1.98
8	0.58	2.23	1.10	0.65	8	6.32	2.78	–	0.97

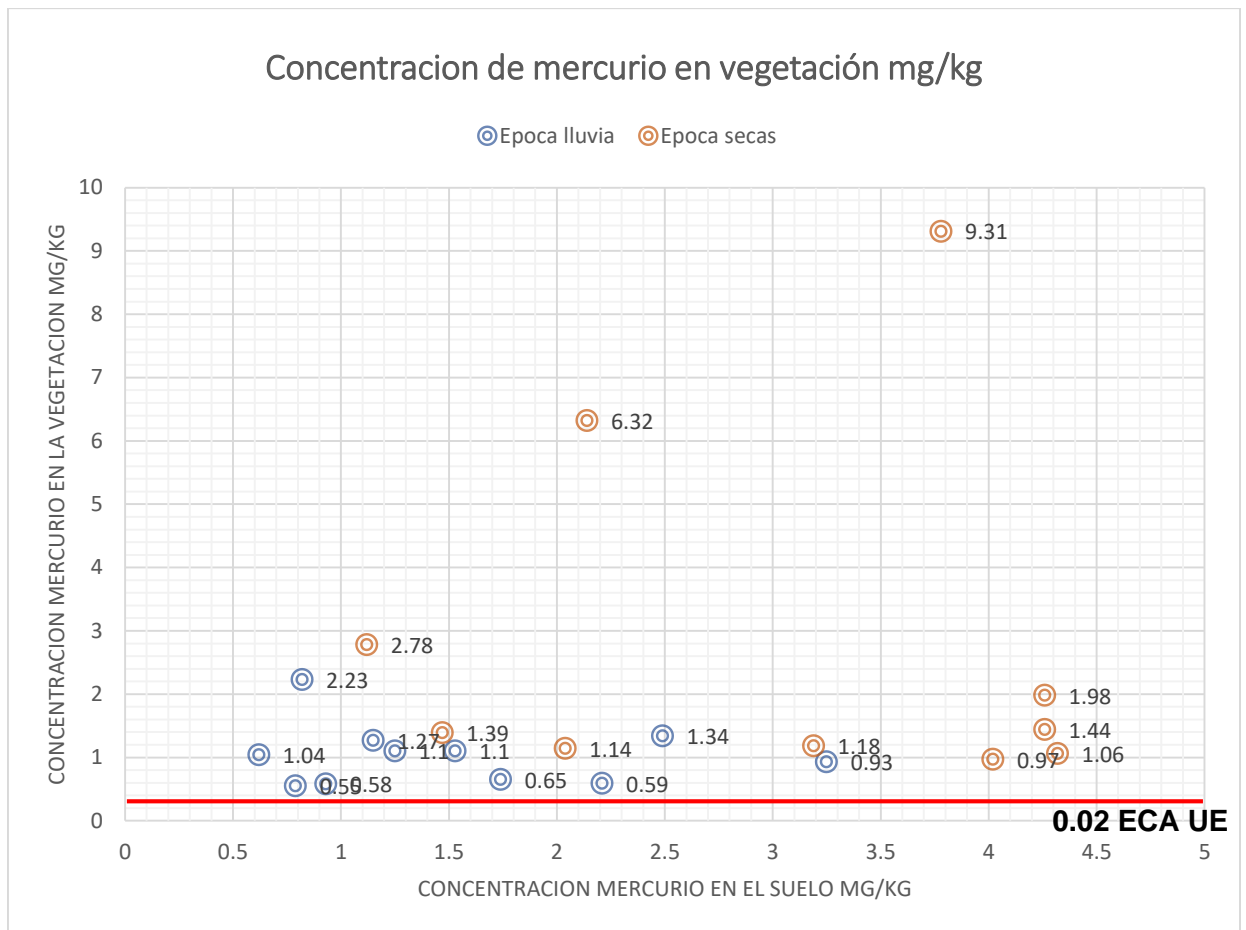
En la tabla N° 11 se observa la cantidad de muestras de vegetación obtenidas encontrándose 11 muestras de vegetación en época de lluvias y 10 muestras de vegetación en época de secas, cuya distribución varía de una época a la otra es decir en menos de un año.

**Tabla 12. Concentración promedio de Mercurio en plantas por época de lluvia y secas**

	N	Media (mg/kg MS2)	Desv.	t	gl	Sig.
Hg-Lluvia	11	1.0	0.05	5.67	10	,999
Hg-Secas	10	2.8	0.28	2.88	9	,982

Nota: prueba t para la media  $\mu=0.02$

La vegetación del área de estudio del sector de Laberinto presenta concentraciones promedio de 1.0 mg/kg en la época de lluvias y de 2.8 mg/kg en épocas de secas encontrando una significancia alta estadísticamente para las dos temporadas de 0.99 indicando la concentración de mercurio en las plantas promedio del sector excede los estándares de calidad ambiental permitidos. Por lo que, se rechaza la hipótesis nula, la concentración de mercurio excede los estándares de calidad ambiental establecidos por el parlamento europeo de la Unión Europea (Reglamento (UE) 2018/73 de la comisión).



**Ilustración 24. Mercurio en las plantas y mercurio en el suelo.**

Se observa la cantidad de mercurio en el suelo y en la vegetación tanto en épocas de lluvias como de secas.

Al determinar la Correlación de mercurio en la vegetación tanto en épocas de lluvias como en secas por medio de la Correlación de Pearson (ANEXO15) se obtiene que, las concentraciones de mercurio en el suelo no representan las concentraciones de mercurio en las plantas en la época de lluvia, debido a que el mercurio se dispersa rápidamente en la época de lluvia por acción del agua. Y que en época de secas existe una ligera tendencia en la transferencia del mercurio del suelo a la vegetación en el Sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios.

***E. Relacionar las características físico químicas del suelo con la concentración de mercurio en la vegetación en el área de estudio.***

**Características físico-químicas y Mercurio en las plantas**

Se obtuvo un total de 21 muestras de vegetación en época de seca y en época de lluvia, en el área de estudio se evaluó las características físico químicas del suelo obteniendo para la vegetación encontrada en el área de estudio un total de 9 muestras con medición físico químico del suelo. Se realizó una correlación de Pearson de la concentración de mercurio en la vegetación con respecto a las características físico químicas del suelo (ANEXO14), encontrado las siguientes relaciones:

- Con un coeficiente de correlación de -0.758 significativo se encuentra a que mayor materia orgánica en el suelo será menor las concentraciones de mercurio en las plantas.
- Con un coeficiente de -0.628 se acepta que la conductividad del suelo afecta en las concentraciones de mercurio en las plantas, es decir, a mayor conductividad del suelo será menor la concentración de mercurio en la vegetación.
- El potasio en el suelo presenta relación inversa con las concentraciones de mercurio en las plantas. A mayor potasio en suelo será menor la concentración de mercurio en las plantas.

Por lo que, se rechaza la hipótesis nula, debido a que existe relación entre la adsorción de mercurio por las características físico químicas (Anexo 4).

### 5.1.1 DISCUSION DE RESULTADOS

1. En la investigación que realizó Camargo en el 2014 sobre la concentración de mercurio en suelo y quebradas en la zona minera de Colombia en la zona de Miraflores, obtuvo los promedios de los valores de Hg fueron de 7.1 mg/Kg, siendo mayores en las áreas cercanas a los montajes como también al aumentar la precipitación. Camargo G. J, Arias M. J y Muñoz P. D (2014). En investigaciones nacionales la realizada por Ramos en el 2012 sobre la determinación de mercurio en tierras de cultivo impactadas por minería en La Libertad – Perú, presentan concentraciones mayores a los estándares de calidad ambiental según el PNUMA. Ramos P. S.T y Terán A. D. (2012). En el trabajo de investigación se obtuvo que la concentración promedio de mercurio en la zona de Laberinto – Tambopata - Madre de Dios en época de secas fue de 1.4 mg/kg y en época de lluvias de 2.3 mg/kg, donde dichos valores son menores a los estándares de calidad ambiental según la normativa peruana; pero no así, para la normativa del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) donde dichos valores exceden los estandares de calidad en suelo por mercurio. Se determinó que mientras sea mayor la concentración de mercurio en el suelo, será menor la capacidad de adsorción del mercurio en con un valor de  $-7.13775 \cdot 10^{-9}$  de capacidad de adsorción, esto debido a que el mercurio interacciona con los factores físico químicos del suelo como son la materia orgánica y las arcillas, las cuales por diferentes factores como el pH, conductibilidad eléctrica, etc las adsorben y absorben generando así compuestos orgánicos e inorgánicos disminuyendo la capacidad de adsorción del suelo.
2. En la investigación hecha por Delgado en el 2019 sobre la Relación que existe de la amalgamación con mercurio para la recuperación de oro y el nivel de contaminación en el suelo en sector de Secocha, obtuvo que en los lugares donde se realiza la amalgama existe mayor concentración de mercurio a nivel superficial la cual disminuye conforme avanza en profundidad. DELGADO P. J. (2019). Se determinó en el trabajo de investigación que la distribución de mercurio en el área de estudio no disminuye a medida que este se aleja del punto central de extracción a diferencia del trabajo realizado por Delgado, es



decir la concentración de mercurio en el suelo en el área de estudio presenta una disposición irregular, pero la concentración de mercurio varía en las diferentes épocas del año, siendo menor en época de lluvias debido al lavado del mercurio que realiza el agua, haciendo que esta se lixivie a las capas profundas. La concentración de mercurio en el área de estudio es menor a los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Minam en Perú, pero superiores para Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

3. Muñoz en su estudio del 2019, estudio los niveles de mercurio en suelos contaminados por la actividad minera ilegal, en la comunidad de San Jacinto, Provincia de Tambopata – Madre de Dios, determinó que los niveles de mercurio eran alterados por la minería ilegal para lo cual realizó análisis químicos al suelo comparando con los estándares de calidad ambiental, concluyó que la textura del suelo influye en el grado de contaminación por mercurio. MUÑOZ. O.C. (2019). Verificando que las características físico químicas del suelo son un factor importante en la retención y adsorción del mercurio, debido a que, en el trabajo de investigación en época de lluvias, es donde se presenta la menor concentración de mercurio en el suelo del área de estudio, debido a la alta permeabilidad de este debido a la textura del suelo, siendo similar al estudio mencionado por Muñoz. Se obtuvo la relación de los parámetros físico químicos más importantes en la concentración del mercurio, obteniendo que las características de textura del suelo, pH, Conductividad Eléctrica, Humedad, Materia Orgánica y el Fósforo son los parámetros de mayor importancia.
4. En el estudio realizado por Arostegui en 2017 determinó la cantidad de mercurio en suelos y plátano *Musa cultivar AAB* en Punkiri Chico e Iberia – Madre de Dios, reportó valores debajo de los estándares de calidad ambiental detectables, mientras en el sector de Punkiri Chico los valores fueron superiores de los estándares de calidad ambiental según la Unión Europea – Comisión del Codex Alimentarius. AROSTEGUI S. V. (2017). Al determinar la concentración de mercurio en la vegetación se comprobó que la concentración de mercurio excede los estándares de calidad ambiental con concentraciones

promedio de 1.0 mg/ kg de mercurio en época de lluvias y 2.8 mg/kg de mercurio en época de seca, excediendo los estándares según la Unión europea a diferencia del trabajo realizado por Arostegui. No se pudo realizar una comparación con la Normativa peruana debido a que no existe ningún documento de lineamiento de estándares de calidad ambiental en vegetación de mercurio en alimentos. Se relacionó las características físico químicas del suelo con la concentración de mercurio en la vegetación en el área de estudio, donde se obtuvo, que la materia orgánica, conductibilidad eléctrica y potasio son las características más importantes en la disminución de concentración de mercurio en los vegetales, debido a que estos interaccionan y retienen el mercurio en sus estructuras, generando así poca disponibilidad de mercurio en disolución para ser absorbida por la vegetación.

## CONCLUSIONES

1. Al evaluar el nivel de contaminación en el suelo por mercurio y su capacidad de adsorción producido por las operaciones de mineras auríferas en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, se obtuvo que la distribución de la concentración de mercurio en el suelo del área de estudio, es irregular, debido al movimiento constante del suelo, de manera periódica por los mineros de la zona. La concentración de mercurio en el suelo promedio es de 1.4 mg/kg en época de lluvias y de 2.3 mg/kg en épocas de secas. Donde la concentración de mercurio en el área de estudio no excede los Estándares de Calidad Ambiental establecidos según el Ministerio del Ambiente, pero si del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

La capacidad de adsorción (q) del suelo está estrechamente relacionado con la concentración de mercurio; es decir, a mayor concentración de mercurio, menor la capacidad de adsorción de este, siendo esta de manera proporcional, por cada mol de mercurio, la capacidad del suelo de recibir mercurio disminuye en  $7.13775 \cdot 10^{-9} q$ .

2. Al determinar el área de distribución y concentración del mercurio en el suelo impactado por la actividad minera, en el sector de Laberinto en un rango de 20 km<sup>2</sup> dentro del área directa de influencia, se obtuvo, que el área de estudio presenta una distribución irregular tanto para época de lluvias como para la época de secas donde los valores oscilan entre 0.6 mg/kg a 4.5 mg/kg de mercurio en el suelo. La concentración del metal mercurio en el área de estudio, no supera los Límites máximos permisibles del MINAM, pero si del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
3. Al relacionar las características físicas y químicas con la concentración del mercurio del suelo en el Sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios. Se obtuvo que, las características físico químicas del suelo, determinan la capacidad de adsorción del mercurio como la distribución

del mercurio en el suelo, siendo las características de textura del suelo, pH, Conductibilidad Eléctrica, Humedad, Materia Orgánica y el Fosforo las características más relevantes que intervienen en la adsorción y distribución del mercurio en el ecosistema.

4. Al determinar la concentración de mercurio en la vegetación del área de estudio, excede los estándares de calidad ambiental permitidos según la Comisión de la Unión Europea según el Reglamento (UE) 2018/73, obteniendo un promedio de concentración de mercurio mg/kg en las muestras analizadas de 1.0 mg/kg en la época de lluvias y de 2.8 mg/kg en épocas de secas. Se determinó que, en la zona de estudio, no presenta vegetación en los mismos puntos de muestreo, debido a que constantemente se está realizando movimiento de los suelos, por la actividad extractiva, siendo las familias más representativas en el área de estudio: Fabaceae, Poaceae.
  
5. Al relacionar la concentración de mercurio en las plantas en razón a la concentración de mercurio en el suelo, en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios. La concentración de mercurio en las plantas dependerá de las características físico químicas del suelo, de la cantidad de materia orgánica y la conductividad eléctrica que presente el este. Existe una ligera transferencia de mercurio del suelo a las plantas en mayor proporción en época de secas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios especializados sobre la transferencia de mercurio en la vegetación, debido a que la concentración de mercurio en la vegetación estudiada en el área de estudio sobrepasa los niveles permitidos según la Comisión de la Unión Europea. (2018).
2. Realizar estudios de mercurio en animales y en la vegetación de consumo humano debido a que la expansión del mercurio por vía aérea, terrestre y acuática genera una contaminación y problemas de salud en la población, siendo la más afectada las poblaciones vulnerables (niños y ancianos).
3. Realizar estudios de manera conjunta con las autoridades de la región de Madre de Dios para que sean partícipes, intervengan y tengan conocimiento de la situación crítica que se encuentra su población, como también el ecosistema en general, para así poder tomar decisiones adecuadas, creando normativas, reglamentos, etc. que puedan dar soluciones para evitar el uso de mercurio en la amalgama del oro.
4. Realizar investigación de alternativas de eliminación del mercurio del ecosistema de selva tropical y subtropical (suelo, agua y aire), debido a que la contaminación de mercurio sobrepasa los valores máximos permitidos, estos entran en la cadena trófica del sector, contaminando a personas que están directa o indirectamente beneficiados por la minería, como también la fauna que es fuente alimenticia de estas poblaciones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Adriano, D.C. (1986) Mercury. Trace elements in the territorial environments. 2nd Edition. Springer. New York, EEUU, p.p 411-458
2. Alvarado Barbarán, L. (2014). Impactos y lecciones aprendidas de la minería ilegal e informal en Madre de Dios. CIES-Consorcio de Investigación Económica y Social, 63.
3. Arostegui Sanchez, V. (2017). Determinacion de los niveles de concentracion de mercurio en suelos y platano musa cultivar aab, sub grupo Platain, en sarayacu, Punkiri chico e Iberia - Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios Facultad de Ingeniería, 130.
4. Asociacion española de Toxicologia (2011). Toxicologia. Revista de Toxicologia Organo Oficial de La Asociacion Española de Toxicologia, 28, 1–98.
5. Autónoma de Yucatán México Prieto Méndez, U., Ramírez, G., Gutiérrez, R., & García, P. (2009). Tropical and Subtropical Agroecosystems. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 29–44.
6. Caiza, F. C. (2018). Mercurio en el suelo. Contaminacion y remediacion. Facultad de Farmacia de la Universidad de Complutense, 20.
7. Covarrubias, S. A., García Berumen, J. A., & Peña Cabriales, J. J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Acta Universitaria, 25, 40–45.
8. Comision de la Union Europea. (2018). Reglamento (UE) 2018/73 de la Comisión. modifican los anexos II y III del Reglamento (CE) N° 396/2005 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los límites máximos de residuos de compuestos de mercurio en determinados productos.
9. Cuizano, N., & Navarro, A. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. Anuales de La Real Sociedad Española de Química, 2, 120–125.
10. Díaz, J. A. (2000). Bioacumulación de metales pesados en macromicetos. 19–28.
11. Farina, O., Pisapia, D., González, M., & Lasso, C. (2013). Evaluación de la Contaminación por Mercurio en la Biota Acuática, Aguas y Sedimentos de la Cuenca Alta del río Cuyuní , Estado Bolívar , Venezuela. Conservation

International, 74–88.

12. Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Bernhardt, E. S. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications*, 13(1).
13. Gonzalez, D. J. X. (2015). Mercury exposure and risk among women of childbearing age in Madre de Dios, Peru. *Tropical Resources*, 34, 16–24.
14. Híver M. Pérez-Vargas , Jhon V. Vidal-Durango, J. L. M.-N. (2014). Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (. 16(6), 897–909.
15. Jaramillo F., M. C., Zapata O., L. F., & Marulanda L., T. (2015). Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp. *Ingenierías USBMed*, 6(2), 42–45.
16. Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la Salud Humana y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145.
17. Lominchar, M. A., Sierra, M. J., Rodríguez, J., & Millán, R. (2010). Estudio del Comportamiento y Distribución del Mercurio Presente en Muestras de Suelo Recogidas en la Ribera del Río Valdeazogues. In *Informes Técnico Ciemat* (Issue 1215).
18. Maco Garcia J.(2008) Zoonificación Ecológica y Económica del Departamento de Madre de Dios.Gobierno Regional de Madre de Dios e Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana.
19. Marrugo Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., Paternina–Uribe, R., Quiroz-Aguas, L., & Pacheco-Florez, S. (2018). Distribución espacial y evaluación de la contaminación ambiental por mercurio en la región de la Mojana, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 7062–7075.
20. Millán, R., Carpena, R. O., Schmid, T., Sierra, M. J., Moreno, E., Peñalosa, J., Gamarra, R., & Esteban, E. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio : estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistema AEET*, 16(2), 56–66.
21. Ministerio del Ambiente. (2017). RM 182-2017-MINAM.pdf (p. 44).
22. Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo.

23. Miraflores, D., Carlos, J., García, C., Paola, J., Morales, A., & Paredes, M. (2014). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchia, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 165–177.
24. Monterroso, C., Bueno, A. G., Varela, S. P., & Macías, F. (2004). Restauración de suelos de mina: contribución a la fijación de carbono en el ecosistema terrestre. *Edafología*, 11(2), 135–148.
25. Muñoz-Silva, L., Olivera-Gonzales, P., Santillán-Torres, M., & Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26(1), 109–118.
26. Ortiz Gárate, Z., & Guerrero Rojas, J. (2016). Analisis comparativo de la Biorremediación de suelos contaminados con mercurio por la actividad minera, aplicando la Tecnología de Vermicomposta. Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, 2, 1–67.
27. Osore Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2012). Informal and illegal mining and mercury pollution in Madre de Dios: a public health problem. In *Acta Médica Peruana* (Vol. 29, Issue 1, pp. 38–42). Colegio Médico del Perú.
28. Peña, R., & Teresa, S. (2012). Determinacion de la concentración de mercurio en tierras de cultivo impactadas por la minería artesanal en el cerro de Toro, Shiracmaca - Humachuco, La Libertad-2012. Universidad Nacional de Trujillo, 1, 51.
29. Posada M. I, M. del P. A. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Eia, Revista*, 6, 57–67.
30. Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44.
31. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Evaluacion mundial sobre el Mercurio. Programa Interorganismos para la gestion racional de las sustancias quimicas, Ginebra, Suiza. Diciembre del 2002
32. Rocha, L., Olivero, J., & Caballero, K. (2018). Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial. *Revista*



- Internacional de Contaminacion Ambiental, 34(1), 10.
33. Reyes, M. (2010). Comportamiento de los metales pesados en el suelo. *Revista Épsilon*, 15, 181–189.
  34. Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
  35. Roman, P. P. (2012). Toxicodinamia y Toxicocinética de las principales sustancias utilizadas en la industria automotriz. 49.
  36. Rocha, L., Olivero, J., & Caballero, K. (2018). Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34(1), 10.
  37. Salazar, J. L. P. (2015). Optimización de la Fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua.” Universidad Nacional Agraria de La Selva, 1–104.
  38. Sanipes, M. (2016). Informe de asistencia Técnica para el periodo de Emergencia (Informe de la Misión). UNEP, 77.
  39. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Manual de Técnicas de Curación y Preservación para un Herbario de Malezas [Versión 1.0]. Tecámac, México. (2019).
  40. Silbergeld, E. K., Holmberg, B., Högberg, J., Trump, B. F., Misra, R. R., & Silbergeld, E. K. (2010).
  41. Toxicología. *Enciclopedia de Salud y Seguridad En El Trabajo*, 33, 1–84.
  42. Trujillo, F., Lasso, C. A., Diazgranados, M. C., Farina, O., Pérez, L. E., Barbarino, A., & González, M. (2010). Evaluación de la contaminación por mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de la orinoquía. In C. A. Lasso, J. S. Usma, F. Trujillo, & A. Rial (Eds.), *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad* (pp. 175–191). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia).

## ANEXOS

### ANEXO 1. Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLOGICO
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es el nivel de contaminación del suelo por mercurio y su capacidad de adsorción en el ámbito de operaciones mineras auríferas en la zona de Laberinto - Tambopata – Madre de Dios?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECIFICO</b></p> <p>a. ¿Cómo está distribuido el mercurio y cuál es su capacidad de adsorción en el suelo del área de estudio?</p> <p>b. ¿Las características físico y químicas del suelo influye en la concentración del mercurio en el suelo en la zona de estudio?</p> <p>c. ¿La vegetación existente en el área impacta por la minería, está contaminada con mercurio?</p> <p>d. ¿Existe relación de las características físico químicas y la concentración de mercurio en la vegetación?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar el nivel de contaminación en el suelo por mercurio y su capacidad de adsorción producido por las operaciones de mineras auríferas en dos épocas del año en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECIFICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la distribución, la concentración y la capacidad de adsorción del Mercurio en el suelo impactado por la actividad Minera en un rango de 20 km<sup>2</sup> dentro del área directa de influencia.</li> <li>• Relacionar las características físicas y químicas con la concentración del Mercurio del suelo en el área de estudio.</li> <li>• Determinar la concentración de mercurio en las plantas en el área de estudio.</li> <li>• Relacionar las características físico químicas del suelo con la concentración de mercurio en la vegetación en el área de estudio.</li> </ul>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b></p> <p>El suelo impactado por las operaciones de la actividad minera en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, presenta niveles altos de contaminación por mercurio, como también impacta en su capacidad de adsorción.</p> <p><b>3.2.1 HIPOTESIS ESPECIFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La distribución de mercurio es homogénea en el área de estudio.</li> <li>• Existe relación de las características físicas y químicas en la concentración de mercurio.</li> <li>• La vegetación está contaminada con mercurio.</li> <li>• Existe relación entre la concentración de mercurio en el suelo y la concentración de mercurio en la vegetación.</li> </ul>	<p><b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características físico y químicas del suelo.</li> <li>• Taxa de vegetación</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentración de Mercurio (µg)</li> <li>• Capacidad de Adsorción</li> </ul>	<p><b>TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION</b></p> <p>• <b>Investigación exploratoria:</b> se tomó las muestras in situ tanto de suelo como de vegetación, el cual se modificó debido a la accesibilidad de la zona y a la población de vegetación en el rango del área de estudio.</p> <p>• <b>Nivel descriptivo:</b> se describió la problemática actual del área de estudio tanto para el suelo como para la vegetación aledaña.</p>

## **ANEXO 2. Instrumentos de Recolección de Información**

### **MATERIALES**

#### **1. Muestras**

- Muestras de Suelo
- Muestras de Vegetación

### **MATERIALES DE CAMPO**

- Wincha de 100 metros.
- GPS.
- Cuaderno de campo.
- Cámara fotográfica.
- Periódico.
- Rafia.
- Pico
- Pala.
- Estacas
- Sacos.
- Balanza
- Rotulador.
- Azadon
- Marcadores.
- Material de bioseguridad personal.
- Rafia
- Tijeras de podar

### **MATERIALES DE TRASLADO A LABORATORIO**

- Frascos de colecta de vidrio con tapa de teflón para muestras de suelo de 350 gr
- Bolsas Ziploc de 120 x 60
- Culers de 50 Litros
- Envases para traslado de muestras

## **MATERIALES DE ESCRITORIO**

- Marcadores
- Papel semi brillante
- Lapiceros
- Cuaderno de apuntes
- Correctores
- Papel periódico

### ANEXO 3. Medios de Verificación

#### PANEL FOTOGRAFICO

	
<p><b>Concesión minera “Proyecto Kiara y Grecia”</b></p>	<p><b>Área de estudio In situ de la actividad dejada por la minería ilegal</b></p>
	
<p>Envases de almacenamiento de muestras de suelo rotuladas para el traslado antes de la recolección de muestras</p>	<p>Existencia de actividad minera en suelo ya devastado por la explotación, conocido como minería de segundo grado</p>



**Vegetación secundaria adaptada a las concentraciones de mercurio que empieza a reforestar el área impactada**



**Evidencia de adaptación de especies de aves que viven en el área devastada por la actividad minera**



**Erosión de suelo por la actividad de dragado de la actividad minera**



**Actividad de dragado y lavado en canaletas de madera**



**Mineros ingresando a agua contaminada con mercurio e hidrocarburos para realizar aseo personal**



**Actividad del dragado de suelo para obtención de oro**



**Recolección de muestras vegetales para reconocimiento taxonómico**



**Recolección de muestras de suelo en época de lluvias**



**Recolección de muestras de suelo en época de secas**



**Medición de hoyos según guía de muestreo de suelos de 20cm x 40 cm x 30 cm**



**Ubicación del punto de muestreo según puntos tomados en gabinete, ubicados por GPS Insitu**



**Obtención de muestras de suelo en punto de muestreo 8D**





**Recolección de muestras vegetales de especies dominantes para análisis en laboratorio**



**Recolección de muestras vegetales**



**8 muestras de suelo del cuadrante B**



**Rotulado y almacenamiento de muestras de suelo para ser enviadas a laboratorio**



**Pesado de muestras de 500 gr de suelo para envío a laboratorio**



**Almacenamiento de muestras de suelo en culer para el envío a laboratorio**



**Almacenamiento en bolsas Ziploc de muestras vegetales**



**Rotulado de muestras vegetales para envío a laboratorio según cuadrantes**

## **ANEXO 4. PRUEBA DE HIPOTESIS**

### **➤ Formulación de Hipótesis General**

**H<sub>0</sub>:** El suelo impactado por actividad minera en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, No presenta altas concentración de mercurio, por su capacidad de adsorción.

**H<sub>1</sub>:** El suelo impactado por actividad minera en el sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, presenta altas concentración de mercurio, por su capacidad de adsorción.

### **Prueba de hipótesis:**

El promedio de concentración de mercurio es menor a 6.6 mg/kg MS<sub>2</sub>

- P valor de la concentración de mercurio en el suelo en época de lluvias y secas:  $\alpha=0.341$

Se acepta la Hipótesis nula para la concentración de mercurio en el suelo del área de estudio el cual no excede los límites máximos permitidos según el Minam con un valor bajo de significancia. Se rechaza la hipótesis nula para la concentración de mercurio según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del 2002

### **Prueba de hipótesis:**

la capacidad de adsorción de mercurio en el suelo es alta.

- P valor de la Capacidad de adsorción de mercurio en el suelo:  
 $\alpha=0,999$

Se rechaza la hipótesis nula de la capacidad de adsorción del suelo del área de estudio debido a que presenta un nivel de significación alta

### **➤ Formulación de Hipótesis Específicas**

#### **Específica 1**

**H<sub>0</sub>:** La distribución de mercurio es heterogénea en el área de estudio

**H<sub>1</sub>:** La distribución de mercurio es homogénea en el área de estudio.

**Hipótesis:**

La concentración de mercurio difiere por la cercanía de la muestra tomada

- P valor de Concentración promedio de mercurio por distancia en época seca. (ANOVA): 0.47
- P valor de Concentración promedio de mercurio por distancia en época lluvia. (ANOVA): 0.39

Se acepta la Hipótesis nula, p valor no existe diferencia significativa en la distribución del mercurio en el suelo del área de estudio

**Especifica 2**

**H<sub>0</sub>:** No Existe relación de las características físicas y químicas en la concentración de mercurio.

**H<sub>1</sub>:** Existe relación de las características físicas y químicas en la concentración de mercurio.

***Tabla 13.Promedio características físicas y químicas de época de lluvias y época de secas***

	<b>Promedio <math>\alpha</math> de época de lluvias y secas</b>
Densidad real	0.141
Arena	<b>0.237</b>
Limo	<b>0.269</b>
Humedad	<b>0.312</b>
Arcilla	0.250
Humedad	<b>0.37</b>
Punto de marchitez	0.348
Capacidad de campo	0.362
Nitrógeno	0.500
Densidad aparente	0.558
Potasio	0.565
Fosforo	0.460
pH	0.570
Conductividad	0.678
distancia	0.743
Materia orgánica	0.772

Se rechaza la hipótesis nula, debido a que existe relación entre la adsorción de mercurio por las características físico químicas.

### **Específica 3**

**H<sub>0</sub>:** La vegetación No está contaminada con mercurio.

**H<sub>1</sub>:** La vegetación está contaminada con mercurio.

**Hipótesis:** la concentración de mercurio en las plantas es inferior a 0.02

- Concentración promedio de Mercurio en plantas por época de lluvia: 0.999
- Concentración promedio de Mercurio en plantas por época de lluvia: 0.990

Se rechaza la hipótesis nula la concentración de mercurio excede los límites máximos permitidos por lo tanto está contaminada con mercurio.

### **Específica 4**

**H<sub>0</sub>:** No Existe relación entre la concentración de mercurio en el suelo y la concentración de mercurio en la vegetación.

**H<sub>1</sub>:** Existe relación entre la concentración de mercurio en el suelo y la concentración de mercurio en la vegetación.

Existe relación entre el mercurio en suelo y en las plantas

	Concentración mercurio en vegetación época lluvia		
	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)
Concentración mercurio en suelo época lluvia	11	-0.147	0.666
	Concentración mercurio en vegetación época seca		
	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)
Concentración mercurio en suelo época seca	10	0.489	0.151

La concentración de mercurio en las plantas tiene relación ligera con la concentración de mercurio en el suelo en época de seca mas no así en época de lluvias

**ANEXO 5. Determinación de mercurio en muestras de suelo y vegetación por espectrofotometría de Adsorción Atómica realizada por laboratorio del centro de información, control toxicológico y apoyo a la gestión ambiental (CICOTOX) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.**

**1.- REACTIVOS Y ESTÁNDARES**

- Todos los reactivos utilizados deben especificar "Para análisis" y el agua debe ser ultrapura.
- Ácido nítrico concentrado al 65 – 70% purificado.
- Ácido clorhídrico concentrado 37% purificado.
- Ácido sulfúrico concentrado grado análisis.
- Solución de patrón de mercurio 1000 mg/L.
- Permanganato de potasio p.a.
- Hidroxilamina p.a.
- Persulfato de sodio p.a.
- Borohidruro de sodio p.a.
- Hidróxido de sodio p.a.
- Gas argón UHP.

**2.- EQUIPOS**

- Equipo Adsorción atómica Thermo Scientific Marca y modelo THERMO SCIENTIFIC ICE 3000 equipado con Generador de Hidruros.
- Balanza analítica.
- Plancha de calentamiento.
- Micropipetas de 100 y 1000µL y 5mL.
- Tubos de vidrio con tapa rosca.

**3.-CONDICIONES ESPECTROFOTOMÉTRICAS**

- Longitud de onda: 253.7 nm

- Ranura: 0.5 nm
- Corrección de fondo: Sin corrector de fondo.
- Corriente de lámpara: 6mA.
- Tiempo de lectura: 4 seg.
- Fuente de luz: Lámpara de cátodo hueco de Mercurio.
- Medida de señal: Absorbancia.
- Flujo de gas argón: 25 mL/min.

#### **4.-PROCEDIMIENTO OPERATORIO**

##### **4.1.-PREPARACIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN**

Los estándares para la curva de calibración se prepararon como sigue:

A partir de una solución stock de 1000ppm de mercurio se toma 1mL en una fiola de 100mL y se lleva a volumen con agua ultrapura, la solución estándar obtenida tiene una concentración de 10ppm. Luego se procede a preparar una solución estándar de 500ppb en una fiola de 100mL tomando una alícuota de 5mL de la solución estándar preparada anteriormente (10ppm) y se enrasa con agua ultrapura. A partir de la solución de 500ppb se toman alícuotas de 0.1mL, 0.5mL, 1mL, y 2mL y se llevan a fiolas de 25mL, a continuación se agregan a las fiolas 4mL de ácido sulfúrico concentrado y 1mL de ácido nítrico concentrado, se lleva a baño maría a 50°C por 60 minutos y en baño de hielo a 4°C se adiciona 5mL de permanganato de potasio al 5% y 5mL de persulfato de potasio al 10%, se deja en reposo toda la noche y finalmente se agrega 5mL de hidroxilamina al 12%, todas las soluciones son homogenizadas y llevadas a volumen con agua ultrapura. Las soluciones estándares obtenidas tienen concentraciones de 2, 10, 20 y 40ppb respectivamente.

##### **4.2.-PREPARACIÓN DE LA MUESTRA**

1. Mezclar la muestra hasta homogeneidad y pesar 0.3 gramos, posteriormente llevar a un tubo con tapa hermética.
2. Adicionar a todas las muestras 4 ml de ácido sulfúrico concentrado y 1 ml



- de ácido nítrico concentrado.
3. Luego llevar a baño maría a 50°C por 60 minutos para dar inicio a la digestión.
  4. Posteriormente se lleva a un baño de hielo a 4°C y se adiciona 5ml de permanganato de potasio al 5% y 5ml de persulfato de potasio 10%.
  5. Se deja en reposo toda la noche.
  6. Finalmente agregar 5ml de hidroxilamina 12%, homogenizar y llevar a lectura.

#### 4.3.- LECTURA EN EL GENERADOR DE HIDRUROS

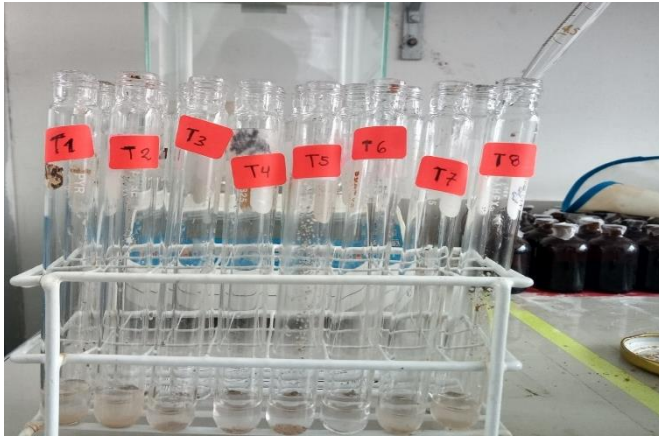
Aspirar directamente las soluciones blanco, estándares y muestras por el generador de hidruros. Usar como carrier una solución de ácido clorhídrico al 10% V/V.

Usar como agente reductor una solución que contenga de borohidruro de sodio al 1.5% y 0.5% de hidróxido de sodio.

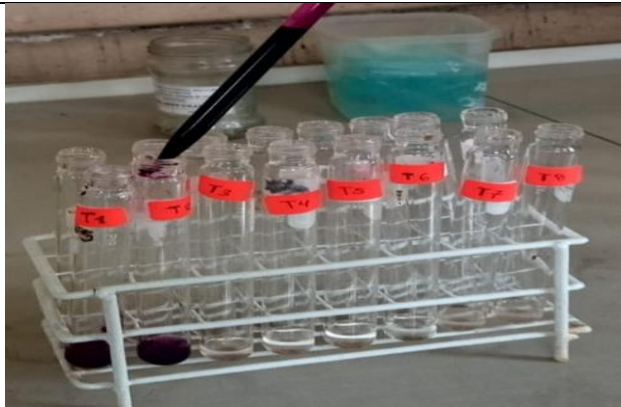
Proceder a leer bajo las condiciones descritas en 3.

	
<p>Pesado de muestras 0.3 g.(vegetales)</p>	<p>Pesado de muestras 0.3 g.(tierras)</p>





Adición de ácido sulfúrico concentrado (4mL)



Adición de permanganato de potasio 5% (5mL)



Adición de persulfato de potasio 10% (5mL)




Adición de hidroxilamina 12% (5mL). Al homogenizar con agua ultrapura, queda una solución translúcida.



Lectura en espectrofotómetro de adsorción atómica (Generador de hidruros)

## ANEXO 6. Informe interno de Análisis de Mercurio

### Ilustración 25. Informe Interno de Análisis de Mercurio

 CICOTOX CENTRO DE INFORMACIÓN, CONTROL TOXICOLÓGICO Y APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL	FORMATO	CÓDIGOS: 81884 - 81903
		VERSIÓN: 00
INFORME INTERNO DE ANÁLISIS		Página 1 de 1

#### I. INGRESO DE MUESTRA

Recolectado por:	Bach. Javier Alonso Sanchez Slesquen		
Fecha de recolección:	11/12/2020	Hora de recolección:	10:00:00:AM
Analizado por:	Bach. Lizbeth Milagros Pumayauri Amanza		
Fecha de inicio:	24/07/2020	Hora de inicio:	09:35:00:AM
Fecha de término:	02/02/2021	Hora de término:	01:45:00:PM

#### II. MUESTRA

Códigos	Muestra	Clasificación	Análisis	Resultados
92801 - 92844	Tierras y vegetales	Análisis Cuantitativo Metales	Mercurio	Ver adjuntos

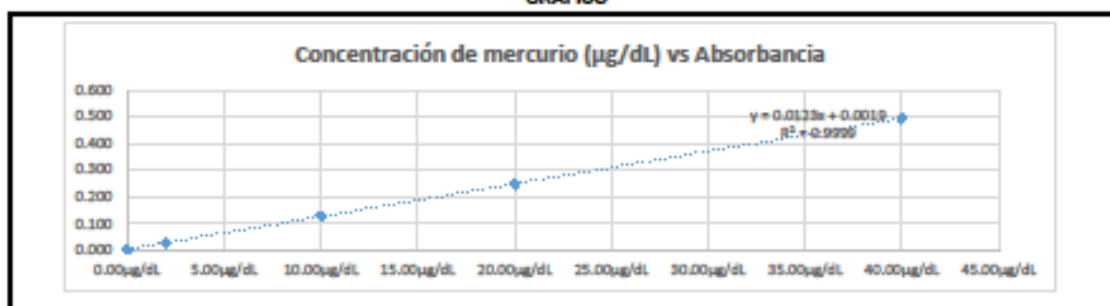
#### III. PARTE EXPERIMENTAL

Método:	Determinación de Mercurio por Espectrofotometría de Absorción Atómica Generador de Hidruros Vapor Frio
Características:	Espectrofotómetro de Absorción Atómica Solar   Modelo ICE 3500   Marca Thermo Scientific
Condiciones:	Longitud de onda 253.7nm   Corriente de lámpara 75%   Corrección de fondo: lámpara de deuterio

#### TABLA DE DATOS

Identificación	Concentración	Absorbancia (A)	Pendiente	Intersección	Concentración corregida
Blanco	0.00µg/dL	0.000	0.0123	0.0019	0.15µg/dL
Estándar 1	2.00µg/dL	0.027	0.0123	0.0019	2.04µg/dL
Estándar 2	10.00µg/dL	0.127	0.0123	0.0019	10.18µg/dL
Estándar 3	20.00µg/dL	0.247	0.0123	0.0019	19.95µg/dL
Estándar 4	40.00µg/dL	0.493	0.0123	0.0019	39.98µg/dL

#### GRÁFICO



Realizado por  
 Bach. Lizbeth Pumayauri Almanza  
 Analista de CICOTOX

Revisado por  
 Dr. Alfonso Apesteegua Infantes  
 Director de CICOTOX

**Ilustración 26. Resultado de concentración de Mercurio por adsorción atómica en suelo en época de Lluvias (diciembre del 2020)**



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
 Universidad del Perú. Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

Nº 92801 - 92811

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** Srta. Liz Andrea Peña Contreras  
**TESIS:** DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 11 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 09:00 a.m.  
**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 14 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 09:25 a.m.  
**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 02 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 01:45 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Adsorción Atómica por Generador de hidruros - Vapor Frío  
**OBSERVACIONES:** La contaminación será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

Nº ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
92801	TERRA A1	Cuantificación de Mercurio	0.093 mg/kg
92802	TERRA A2	Cuantificación de Mercurio	0.079 mg/kg
92803	TERRA A3	Cuantificación de Mercurio	0.158 mg/kg
92804	TERRA A4	Cuantificación de Mercurio	0.101 mg/kg
92805	TERRA A5	Cuantificación de Mercurio	0.166 mg/kg
92806	TERRA A6	Cuantificación de Mercurio	0.181 mg/kg
92807	TERRA A7	Cuantificación de Mercurio	0.096 mg/kg
92808	TERRA A8	Cuantificación de Mercurio	0.192 mg/kg
92809	TERRA B1	Cuantificación de Mercurio	0.184 mg/kg
92810	TERRA B2	Cuantificación de Mercurio	0.122 mg/kg
92811	TERRA B3	Cuantificación de Mercurio	0.094 mg/kg

Lima, 09 de febrero de 2021

Director del CICOTOX  
 Dr. José A. Apesteguía Infantes  
 Esp. Toxicología y Química Legal  
 CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
 DNI N° 09359857



AMÉRICA FIGUEROA VARGAS  
 C.Q.F. 19579

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓNICO"**

Jr. Puro Nº 1002, Jardín Botánico – Lima 1 – Perú  
 Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 – Lima 1  
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe http://farmacia.unmsm.edu.pe



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
 Universidad del Perú, Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

**N° 92812 - 92822**

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** Sra. Lic. Andrea Peña Contreras

**TESIS:** DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE  
 LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO.

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 11 DE DICIEMBRE DE 2020      **HORA:** 10:00 a.m.  
**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 14 DE DICIEMBRE DE 2020      **HORA:** 09:25 a.m.  
**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 02 DE FEBRERO DE 2021      **HORA:** 01:45 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generador de Hidruros - Vapor Frío.

**OBSERVACIONES:** La contaminación será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
92812	TIERRA - B4	Cuantificación de Mercurio	0.090 mg/kg
92813	TIERRA - B5	Cuantificación de Mercurio	0.325 mg/kg
92814	TIERRA - B6	Cuantificación de Mercurio	0.153 mg/kg
92815	TIERRA - B7	Cuantificación de Mercurio	0.117 mg/kg
92816	TIERRA - B8	Cuantificación de Mercurio	0.082 mg/kg
92817	TIERRA - C1	Cuantificación de Mercurio	0.062 mg/kg
92818	TIERRA - C2	Cuantificación de Mercurio	0.049 mg/kg
92819	TIERRA - C3	Cuantificación de Mercurio	0.084 mg/kg
92820	TIERRA - C4	Cuantificación de Mercurio	0.134 mg/kg
92821	TIERRA - C5	Cuantificación de Mercurio	0.293 mg/kg
92822	TIERRA - C6	Cuantificación de Mercurio	0.080 mg/kg

Lima, 08 de febrero de 2021

Director del CICOTOX  
 Dr. José A. Apóstegui Infantes  
 Esp. Toxicología y Química Legal  
 CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
 DNI N° 09359857



D.ª AMÉRICA FIGUEROA VARGAS  
 C.Q.P.R. 18378

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"**

Jr. Peru N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
 Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe      http://farmacia.unmsm.edu.pe



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
**Universidad del Perú. Decana de América**  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

N° **92823** - **92833**

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** Srta. Liz Andrea Peña Contreras

**TEMA:** DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE  
 LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 11 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 00:00 a.m.

**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 14 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 09:25 a.m.

**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 02 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 01:45 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generador de Inhibidos - Vapor Frío.

**OBSERVACIONES:** La concentración será discutida a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
92822	TERRA C7	Cuantificación de Mercurio	0.062 mg/kg
92824	TERRA C8	Cuantificación de Mercurio	0.123 mg/kg
92825	TERRA D1	Cuantificación de Mercurio	0.107 mg/kg
92826	TERRA D2	Cuantificación de Mercurio	0.206 mg/kg
92827	TERRA D3	Cuantificación de Mercurio	0.099 mg/kg
92828	TERRA D4	Cuantificación de Mercurio	0.161 mg/kg
92829	TERRA D5	Cuantificación de Mercurio	0.147 mg/kg
92830	TERRA D6	Cuantificación de Mercurio	0.249 mg/kg
92831	TERRA D7	Cuantificación de Mercurio	0.231 mg/kg
92832	TERRA D8	Cuantificación de Mercurio	0.174 mg/kg
92833	TERRA CENTRAL	Cuantificación de Mercurio	0.196 mg/kg

Lima, 09 de febrero de 2021

Director de CICOTOX  
 Dr. José A. Apóstegua Infantes  
 Esp. Toxicología y Química Legal  
 COFP N° 05538 RNE N° 0240  
 DNI N° 09359857



Q.S. AMÉRICO X FIGUEROA YARGAS  
 C.O.F.P. 18379

**"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓNICO"**

Jr. Paso N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
 Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
 E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>

**Ilustración 27. Resultado de la concentración de Mercurio por adsorción atómica en muestras de Vegetación en época de lluvias (diciembre del 2020)**



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
 Universidad del Perú. Decana de América  
**Facultad de Farmacia y Bioquímica**



Centros de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
**CICOTOX**

N° 92834 - 92844

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

**SOLICITANTE:** Srta. Luz Andrea Peña Contreras  
**TESIS:** DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 11 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 10:00 a.m.  
**FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:** 14 DE DICIEMBRE DE 2020 HORA: 09:35 a.m.  
**FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS:** 02 DE FEBRERO DE 2021 HORA: 01:48 p.m.

**MÉTODO:** Espectrofotometría de Absorción Atómica por Generador de Hidruros - Vapor Frío  
**OBSERVACIONES:** La contra muestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANALISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
92834	MATERIAL VEGETAL A1	Cuantificación de Mercurio	0.058 mg/kg
92835	MATERIAL VEGETAL A2	Cuantificación de Mercurio	0.059 mg/kg
92836	MATERIAL VEGETAL B0	Cuantificación de Mercurio	0.093 mg/kg
92837	MATERIAL VEGETAL B6	Cuantificación de Mercurio	0.110 mg/kg
92838	MATERIAL VEGETAL B7	Cuantificación de Mercurio	0.137 mg/kg
92839	MATERIAL VEGETAL B8	Cuantificación de Mercurio	0.223 mg/kg
92840	MATERIAL VEGETAL C7	Cuantificación de Mercurio	0.104 mg/kg
92841	MATERIAL VEGETAL C8	Cuantificación de Mercurio	0.111 mg/kg
92842	MATERIAL VEGETAL D6	Cuantificación de Mercurio	0.154 mg/kg
92843	MATERIAL VEGETAL D7	Cuantificación de Mercurio	0.059 mg/kg
92844	MATERIAL VEGETAL D8	Cuantificación de Mercurio	0.065 mg/kg

Lima, 09 de febrero de 2021

Director del CICOTOX  
 Dr. José A. Apóstegua Infantes  
 Exp. Toxicología y Química Legal  
 CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
 DNI N° 09359857



ERICKSON FIGUEROA VARGAS  
 C.O.P. 18579

*"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"*

**Ilustración 28. Resultado de la concentración de Mercurio por análisis de adsorción atómica en muestras de suelo en época de secas (octubre del 2021)**



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú, Decana de América  
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental

CICOTOX

N° 94198 - 94210

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

SOLICITANTE: Srta. Liz Aranda Peña Contreras

TESIS: DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 DE DICIEMBRE DE 2021 HORA: 04:30 p.m.

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 31 DE ENERO DE 2022 HORA: 08:30 a.m.

FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 22 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 07:00 p.m.

MÉTODOS: Arsenite - Espectrofotometría de Adsorción Atómica Vapor Frío

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
94198	Cuadrante A1 12° 52' 58" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.214 mg/kg
94199	Cuadrante A2 12° 52' 09" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.012 mg/kg
94200	Cuadrante A3 12° 52' 39" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.052 mg/kg
94201	Cuadrante A4 12° 52' 29" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.421 mg/kg
94202	Cuadrante A5 12° 52' 19" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.378 mg/kg
94203	Cuadrante A6 12° 52' 09" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.081 mg/kg
94204	Cuadrante A7 12° 51' 59" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.006 mg/kg
94205	Cuadrante A8 12° 51' 49" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.26 mg/kg
94206	Cuadrante B1 12° 51' 39" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.432 mg/kg
94207	Cuadrante B2 12° 51' 29" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.198 mg/kg
94208	Cuadrante B3 12° 51' 19" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.057 mg/kg
94209	Cuadrante B4 12° 51' 09" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.362 mg/kg
94210	Cuadrante B5 12° 51' 00" - 09° 58' 40" Maldonado - Laberinto - La Paqueta Puerto	Cuantificación de Mercurio	0.229 mg/kg

Director del CICOTOX

**Dr. José A. Apesteeguía Infantes**  
Esp. Toxicología y Química Legal  
CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
ONI N° 09359857



G. F. AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS  
C.Q.F.P. 18579

*"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"*

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
E-mail: cicotox.farmac@unmsm.edu.pe http://farmacia.unmsm.edu.pe





Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América  
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
CICOTOX

N° 94211 - 94223

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

SOLICITANTE: Sra. Liz Andrea Peña Contreras

TESIS: DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL  
SECTOR DE LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 DE DICIEMBRE DE 2021 HORA: 04:30 p.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 31 DE ENERO DE 2022 HORA: 08:30 a.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 22 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 07:00 p.m.

MÉTODOS: Arsenico : Espectrofotometría de Absorción Atómica Vapor Frío

OBSERVACIONES: La cont muestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
94211	Cuchara B6 12° 31' 30" - 69° 37' 52" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.399ng/kg
94212	Cuchara B7 12° 31' 30" - 69° 37' 44" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.147ng/kg
94213	Cuchara B8 12° 31' 30" - 69° 37' 36" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.112ng/kg
94214	Cuchara C1 12° 31' 20" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.317ng/kg
94215	Cuchara C2 12° 31' 19" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.448ng/kg
94216	Cuchara C3 12° 31' 30" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.204ng/kg
94217	Cuchara C4 12° 30' 50" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.129ng/kg
94218	Cuchara C5 12° 30' 40" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.133ng/kg
94219	Cuchara C6 12° 30' 30" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.183ng/kg
94220	Cuchara C7 12° 30' 20" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.173ng/kg
94221	Cuchara C8 12° 30' 19" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.086ng/kg
94222	Cuchara D1 12° 31' 30" - 69° 38' 40" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.18ng/kg
94223	Cuchara D2 12° 31' 30" - 69° 38' 50" Puerto Maldonado - Laberinto - La Pastaza	Cuantificación de Mercurio	0.084ng/kg

Director del CICOTOX  
Dr. José A. Apesteigua Infantes  
Esp. Toxicología y Química Legal  
CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
DNI N° 09359857



G.F. AMÉRICO A. FIGUEROA VARGAS  
C.O.F.P. 18578

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"

Jr. Puro N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú  
Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
E-mail: cicotox.lima@unmsm.edu.pe http://farmacia.unmsm.edu.pe



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América  
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental

CICOTOX

N° 94224 - 94232

PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO

SOLICITANTE: Srta. Liz Andrya Peña Contreras

TESIS: DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL  
SECTOR DE LABERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 DE DICIEMBRE DE 2021 HORA: 04:30 p.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 31 DE ENERO DE 2022 HORA: 08:30 a.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 22 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 07:00 p.m.

MÉTODOS: Arsenios - Espectrofotometría de Absorción Atómica Vapor Frío

OBSERVACIONES: La contramuestra se descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
94224	Cuadrante D1 12° 57' 19" - 09° 59' 04" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.173mg/kg
94225	Cuadrante D4 12° 57' 19" - 09° 59' 12" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.306mg/kg
94226	Cuadrante D1 12° 57' 19" - 09° 59' 20" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.319mg/kg
94227	Cuadrante D6 12° 57' 19" - 09° 59' 28" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.426mg/kg
94228	Cuadrante D7 12° 57' 19" - 09° 59' 36" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.426mg/kg
94229	Cuadrante D8 12° 57' 19" - 09° 59' 44" Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.402mg/kg
94230	Cuadrante Control Control Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.356mg/kg
94231	14.303 gr Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.632mg/kg
94232	14.303 gr Maldonado - Laberinto - La Patanga	Cuantificación de Mercurio	0.931 mg/kg

Director del CICOTOX  
Dr. José A. Apesteigua Infantes  
Esp. Toxicología y Química Legal  
CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
DNI N° 09359857



Dr. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS  
C.O.F.P. 18579

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓNICO"

Jr. Peru N° 1002, Jardín Botánico - Lima I - Perú  
Teléfono: (511) 328-7700 / An. Postal 4559 - Lima I

**Ilustración 29. Resultado de concentración de Mercurio por medio de análisis de adsorción atómica en muestras vegetales en época de secas (octubre 2021)**



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América  
Facultad de Farmacia y Bioquímica



Centro de Información, Control Toxicológico y apoyo a la Gestión Ambiental  
CICOTOX

N° 94233 - 94240

**PROTOCOLO DE ANÁLISIS TOXICOLÓGICO**

SOLICITANTE: Srta. Liz Andrea Peña Contreras

TESIS: DISTRIBUCIÓN Y ADSORCIÓN DE MERCURIO EN MINERÍA ABANDONADA EN EL SECTOR DE LAHERINTO - TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO

FECHA DE RECEPCIÓN: 15 DE DICIEMBRE DE 2021 HORA: 04:30 p.m.  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 31 DE ENERO DE 2022 HORA: 08:30 a.m.  
FECHA DE TÉRMINO DE ANÁLISIS: 22 DE FEBRERO DE 2022 HORA: 07:00 p.m.

MÉTODOS: Arsenico - Espectrofotometría de Adsorción Atómica Vapor Frío

OBSERVACIONES: La contramuestra será descartada a los 30 días posteriores al análisis.

N° ANÁLISIS	MUESTRA	ANÁLISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
94233	LD 300 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.106mg/kg
94234	FD 090 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.139mg/kg
94235	HD 090 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.278mg/kg
94236	IC 090 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.114mg/kg
94237	LD 500 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.118mg/kg
94238	DE 940 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.144mg/kg
94239	DE 500 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.198mg/kg
94240	DE 500 gr Maldonado - Laboratorio - La Pazanca	Cuantificación de Mercurio	0.097mg/kg

Director del CICOTOX  
Dr. José A. Apestegua Infantes  
Esp. Toxicología y Química Legal  
CQFP N° 06538 RNE N° 0240  
DNI N° 09359857



Dr. AMERICO A. FIGUEROA VARGAS  
C.O.F.P. 18579

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"

Jr. Pinto N° 1002, Jirón Bolívar - Lima 1 - Perú  
Teléfono: (511) 328-7700 / Ap. Postal 4559 - Lima 1  
E-mail: cicotox.farmacia@unmsm.edu.pe <http://farmacia.unmsm.edu.pe>

## ANEXO 7. Conversión de partes por millón de mercurio a moles de mercurio

$$ppm = \frac{mg}{L}$$

$$M = \frac{\text{moles de Hg}}{L \text{ disolución}}$$

$$M = \frac{mg}{L} \times \frac{1 g}{1000mg} \times \frac{1 \text{ mol de Hg}}{\text{masa atómica de Hg (200.59gr)}}$$

### 7.1 Conversión de ppm a moles De mercurio en muestras de suelo

**Tabla 14. Concentración de Mercurio en el Cuadrante A**

CUADRANTE	CODIGO	S	W	LLUVIA			SECAS		
				(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L	(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L
CENTRAL	0	12°51'39"	69°58'40"	0.19	190	947	0.356	356	1770
A	1	12°52'59"	69°58'40"	0.093	93	957	0.214	214	1300
	2	12°52'49"	69°58'40"	0.079	79	479	0.012	12	29.9
	3	12°52'39"	69°58'40"	0.159	159	902	0.052	52	404
	4	12°52'29"	69°58'40"	0.101	101	828	0.421	421	3780
	5	12°52'19"	69°58'40"	0.166	166	504	0.378	378	2100
	6	12°52'09"	69°58'40"	0.181	181	793	0.081	81	259
	7	12°51'59"	69°58'40"	0.096	96	394	0.006	6	59.8
	8	12°51'49"	69°58'40"	0.192	192	464	0.26	260	1060

**Tabla 15. Concentración de Mercurio en el cuadrante B**

CUADRANTE	CODIGO	S	W	LLUVIA			SECAS		
				(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L	(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L
CENTRAL	0	12°51'39"	69°58'40"	0.19	190	947	0.356	356	1770
B	1	12°51'39"	69°58'32"	0.184	184	917	0.432	432	2150
	2	12°51'39"	69°58'24"	0.122	122	608	0.198	198	987
	3	12°51'39"	69°58'16"	0.094	94	469	0.057	57	248
	4	12°51'39"	69°58'08"	0.09	90	449	0.362	362	1800
	5	12°51'39"	69°58'00"	0.325	325	1620	0.229	229	1140
	6	12°51'39"	69°57'52"	0.153	153	763	0.399	399	1990
	7	12°51'39"	69°57'44"	0.115	115	573	0.147	147	733
	8	12°51'39"	69°57'36"	0.082	82	409	0.112	112	558

**Tabla 16. Concentración de Mercurio en el cuadrante C**

CUADRANTE	CODIGO	S	W	LLUVIA			SECAS		
				(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L	(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L
CENTRAL	0	12°51'39"	69°58'40"	0.19	190	947	0.356	356	1770
C	1	12°51'29"	69°58'40"	0.062	62	309	0.317	317	1580
	2	12°51'19"	69°58'40"	0.049	49	244	0.448	448	2230
	3	12°51'09"	69°58'40"	0.084	84	419	0.204	204	1020
	4	12°50'59"	69°58'40"	0.134	134	668	0.129	129	643
	5	12°50'49"	69°58'40"	0.293	293	1460	0.133	133	663
	6	12°50'39"	69°58'40"	0.083	83	414	0.183	183	912
	7	12°50'29"	69°58'40"	0.062	62	309	0.173	173	862
	8	12°50'19"	69°58'40"	0.125	125	623	0.086	86	429

**Tabla 17. Concentración de Mercurio en el cuadrante D**

CUADRANTE	CODIGO	S	W	LLUVIA			SECAS		
				(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L	(mg/Kg)	ppb	Moles Hg/L
CENTRAL	0	12°51'39"	69°58'40"	0.19	190	947	0.356	356	1770
D	1	12°51'39"	69°58'48"	0.107	107	533	0.18	180	897
	2	12°51'39"	69°58'56"	0.206	206	1030	0.084	84	419
	3	12°51'39"	69°59'04"	0.09	90	449	0.173	173	862
	4	12°51'39"	69°59'12"	0.161	161	803	0.306	306	1560
	5	12°51'39"	69°59'20"	0.147	147	733	0.319	319	1590
	6	12°51'39"	69°59'28"	0.249	249	1240	0.426	426	2120
	7	12°51'39"	69°59'36"	0.221	221	1100	0.426	426	2120
	8	12°51'39"	69°59'44"	0.174	174	867	0.402	402	2000

## 7.2 Conversión de ppm a moles de Mercurio en muestras vegetales

**Tabla 18. Obtención de la concentración de Mercurio de muestras de Vegetación por cuadrante tanto en época de lluvias como de seca**

CUADRANTE	VEGETACION			
	LLUVIAS		SECAS	
	ppm	Moles Hg/L	ppm	Moles Hg/L
A1	58	$2.89 \times 10^{-7}$	632	$3.15 \times 10^{-6}$
A2	55	$2.74 \times 10^{-7}$	0	0
A3	0	0	0	0
A4	0	0	0	0
A5	0	0	931	$4.64 \times 10^{-6}$
A6	0	0	0	0
A7	0	0	0	0
A8	0	0	0	0
B1	0	0	106	$5.28 \times 10^{-7}$
B2	0	0	0	0
B3	0	0	0	0
B4	0	0	0	0
B5	93	$4.64 \times 10^{-7}$	0	0
B6	110	$5.48 \times 10^{-7}$	0	0
B7	127	$6.33 \times 10^{-7}$	139	$6.93 \times 10^{-7}$
B8	223	$1.11 \times 10^{-6}$	278	$1.39 \times 10^{-6}$
C1	0	0	0	0
C2	0	0	0	0
C3	0	0	114	$5.68 \times 10^{-7}$
C4	0	0	0	0
C5	0	0	0	0
C6	0	0	0	0
C7	104	$5.18 \times 10^{-7}$	0	0
C8	110	$5.48 \times 10^{-7}$	0	0
D1	0	0	0	0
D2	0	0	0	0
D3	0	0	0	0
D4	0	0	0	0
D5	0	0	118	$5.88 \times 10^{-7}$
D6	134	$6.68 \times 10^{-7}$	144	$7.18 \times 10^{-7}$
D7	59	$2.94 \times 10^{-7}$	198	$9.87 \times 10^{-7}$
D8	65	$3.24 \times 10^{-7}$	97	$4.84 \times 10^{-7}$
CENTRAL	0	0	0	0

## ANEXO 8.- Correlación de Pearson para la Concentración de mercurio en el suelo en épocas de Lluvia y Secas

**Tabla 19. Concentración de Mercurio en el suelo en época de Lluvia y Secas**

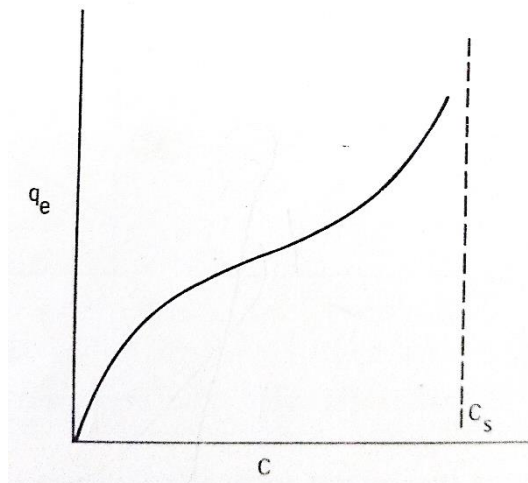
	Concentración mercurio en suelo época lluvia		
	<b>N</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Concentración mercurio en suelo época seca	33	0.171	0.341

En la comparación de las concentraciones de mercurio en épocas de lluvia y secas se observa una ligera relación lineal con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.171 no significativa.

## ANEXO 9.- Obtención de la Capacidad de Adsorción por medio de la fórmula de la isoterma de Lagmuir – laboratorio MCQUIMICALAB

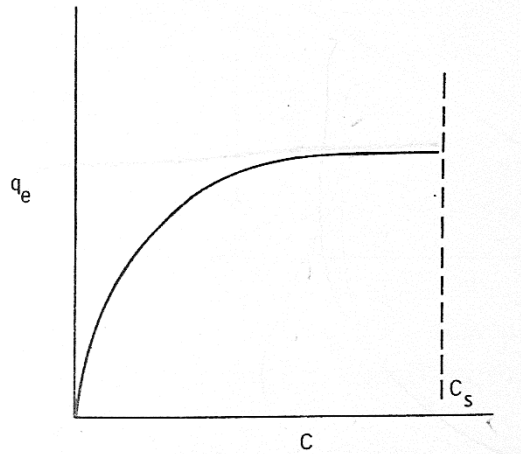
El modelo de adsorción de Langmuir es válido para la adsorción de capa simple mientras que los modelos de Brunauer, Emmett, Teller (BET) representan isothermas que reflejan la adsorción aparente de multicapa. Ambas ecuaciones están limitadas por la suposición de una distribución uniforme de energías de adsorción sobre la superficie. Gráficamente la isoterma de Langmuir Las isothermas de Langmuir pueden deducirse a partir de consideraciones cinéticas o térmicas de adsorción. (Langmuir & Brunauer, 1918)

Para la adsorción en una solución y con la suposición de que todas las capas después de la primera, tienen energía de adsorción idénticas, la ecuación para el modelo BET se reduce a (J & JR, 1979)



**Ilustración 30. Gráfica de B.E.T**





**Ilustración 31. Gráfica de Langmuir**

$$q_e = \frac{BCQ^\circ}{(C_s - C)\left[1 + (B-1)\left(\frac{C}{C_s}\right)\right]} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Cs: concentración de saturación del soluto

C: concentración en solución medida en el equilibrio

Q°: número de moles de soluto adsorbidos por peso unitario de adsorbente que forman una monocapa completa en la superficie,

q<sub>e</sub>: número de moles de soluto adsorbidos por peso unitario y para la concentración C

B: constante representativa de la energía de interacción con la superficie.

La ecuación 1 puede reordenarse en forma lineal para poder interpretar mejor los datos experimentales. (J & JR, 1979)

$$\frac{C}{(C_s - C)q_e} = \frac{1}{BQ^\circ} + \left(\frac{B-1}{BQ^\circ}\right)\left(\frac{C}{C_s}\right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Si trazamos en un gráfico el término izquierdo de la ecuación 2 en función de C/C<sub>s</sub> obtenemos una línea recta de pendiente  $(B - 1/BQ^\circ)$  y ordenada en el origen  $1/BQ^\circ$  para los datos que concuerdan con el modelo BET.

En el cual b es una constante relacionada con la energía o entalpía neta, ΔH, de adsorción,  $(b \propto e^{-\Delta H/Rt})$ , todos los otros símbolos son los mismos que los utilizados para las ecuaciones 1 y 2. La ecuación 1 se reduce a la ecuación 3 si hacemos b igual a B/C<sub>s</sub>, C es despreciable comparado con C<sub>s</sub>, y B se considera mucho mayor que 1. (J & JR, 1979)

A partir de la ecuación 1 se tiene:

$$q_e = \frac{BCQ^\circ}{(C_s - C) \left[ 1 + (B - 1) \left( \frac{C}{C_s} \right) \right]}$$

$$b = \frac{B}{C_s} \quad ; \quad B = bC_s$$

$$C_s \gg C \quad ; \quad C_s - C \cong C_s$$

$$B \gg 1 \quad ; \quad B - 1 \cong B$$

Reemplazando obtenemos:

$$q_e = \frac{B(bC_s)Q^\circ}{(C_s) \left[ 1 + (bC_s) \left( \frac{C}{C_s} \right) \right]}$$

La isoterma de Langmuir viene dada por.

$$q_e = \frac{BCQ^\circ}{(1+bC)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Luego de obtener la ecuación 3 de Langmuir se realiza la forma lineal:

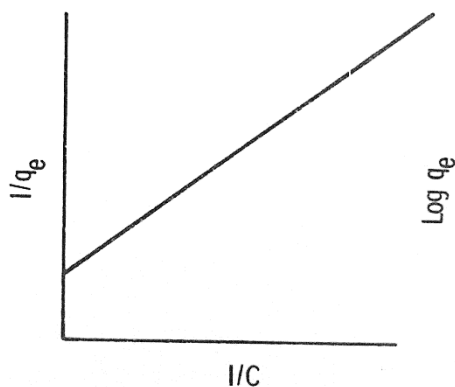
$$y = n + mx$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^\circ} + \left( \frac{1}{bQ^\circ} \right) \left( \frac{1}{C} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Se vuelve a graficar donde:

$$X = \frac{1}{C}$$

$$y = \frac{1}{q_e}$$



**Ilustración 32. Gráfica de Langmuir en forma lineal**

De grafica se tiene los valores de m y n:

$$m = \frac{1}{bQ^\circ} \dots (a)$$

$$n = \frac{1}{Q^{\circ}} \dots \dots (b)$$

Reemplazando (b) en (a) se tiene:

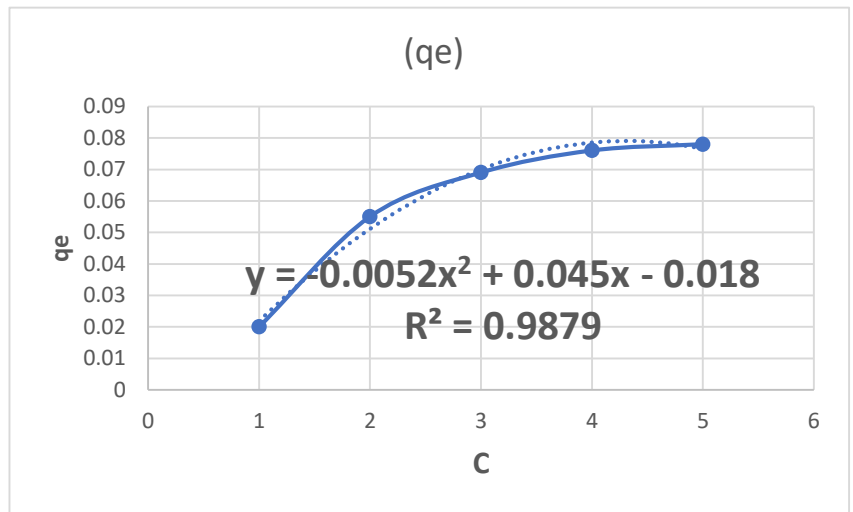
$$m = \frac{n}{b}$$

$$b = \frac{n}{m}$$

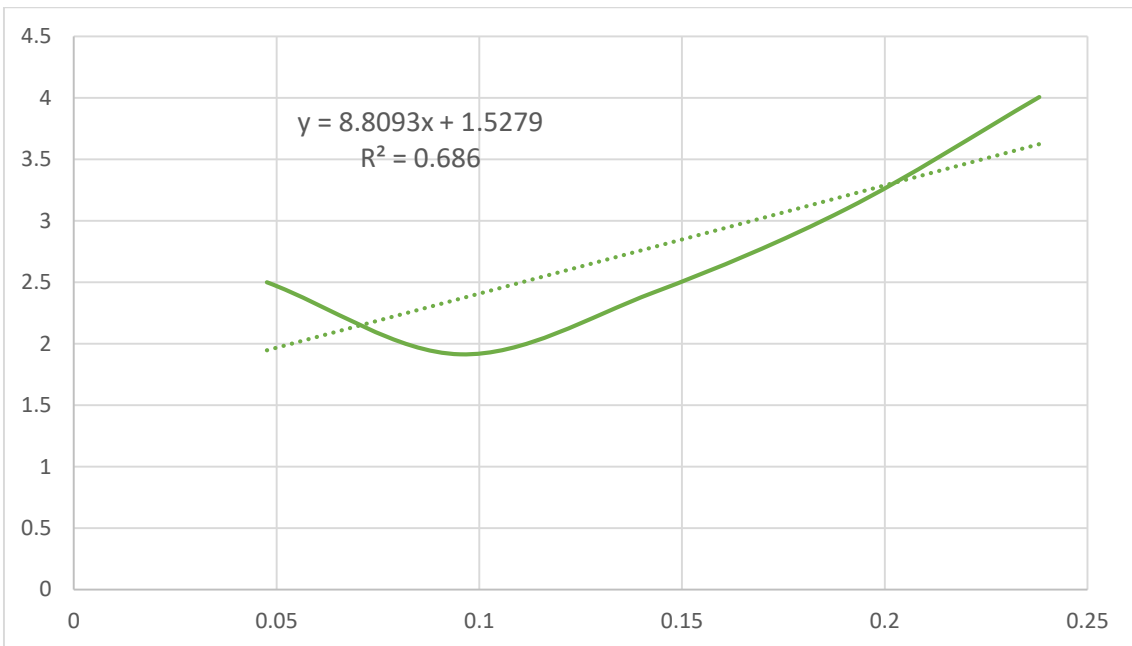
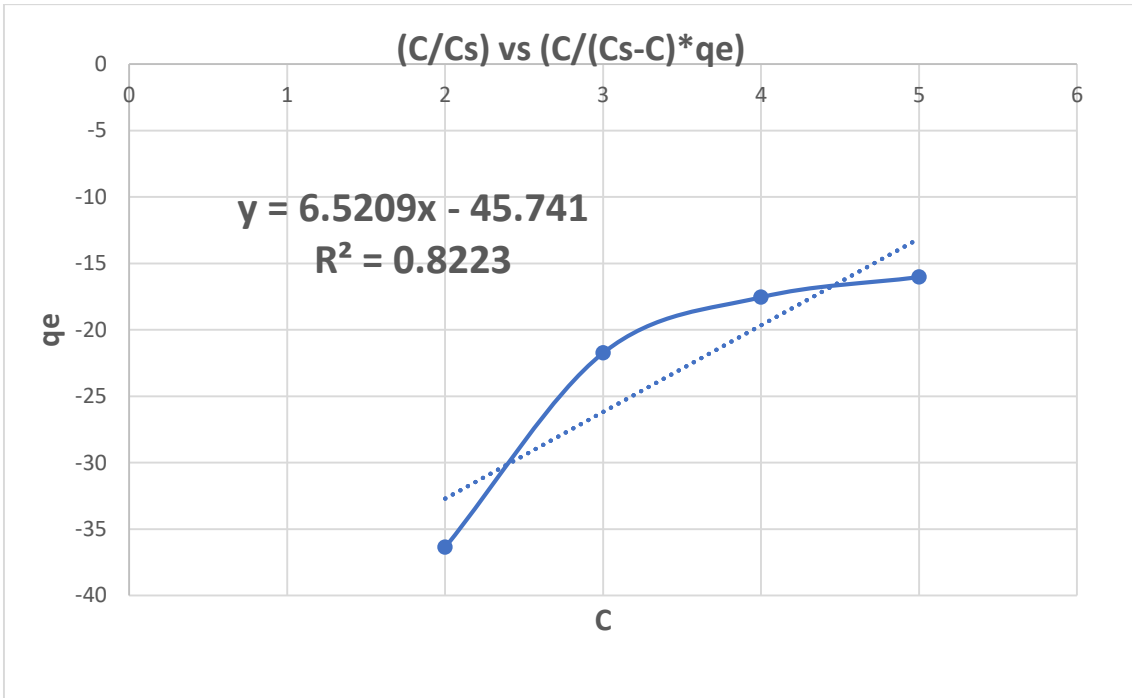
### OBTENCION DE VARIABLES PARA ECUACION BET

(X)	(Y)
(C)	(q)
1	0.02
2	0.055
3	0.069
4	0.076
5	0.078

C/Cs	C/(Cs-C)*q
1	#i DIV/0!
2	-36.36363636
3	-21.73913043
4	-17.54385965
5	-16.02564103



(X)	(Y)	Supocision	
		Cs	21
(C)	(q)	C/Cs	C/((Cs-C)*q)
1	0.02	0.04761905	2.5
2	0.055	0.0952381	1.9138756
3	0.069	0.14285714	2.41545894
4	0.076	0.19047619	3.09597523
5	0.078	0.23809524	4.00641026



<b>m</b>	8.8093
<b>n</b>	1.5279
<b>B</b>	6.7656
<b>Q°</b>	0.0967
<b>b</b>	6.7656

## OBTENCION DE VARIABLES PARA ISOTERMA DE LAGMUIR

### Linealizacion Langmiur

(X)	(Y)	(Y)	(X)
(C)	(q)	1/q	1/C
1	0.02	50	1
2	0.055	18.1818182	0.5
3	0.069	14.4927536	0.333
4	0.076	13.1578947	0.25
5	0.078	12.8205128	0.2

$$y = mx + n$$

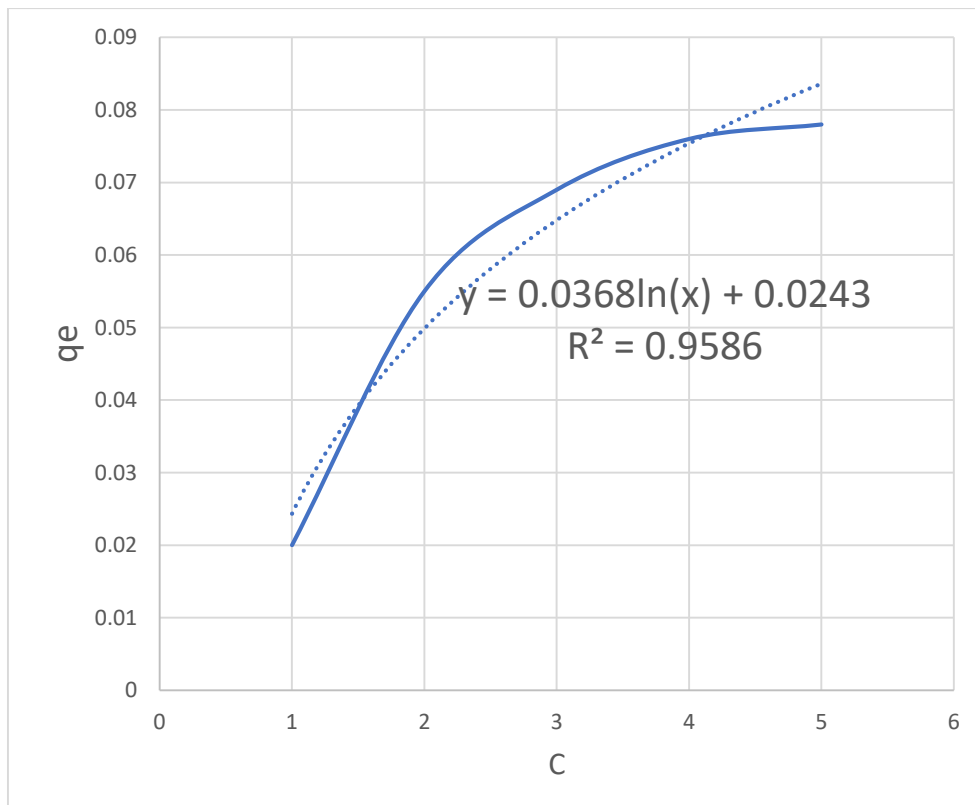
**m** 47.892

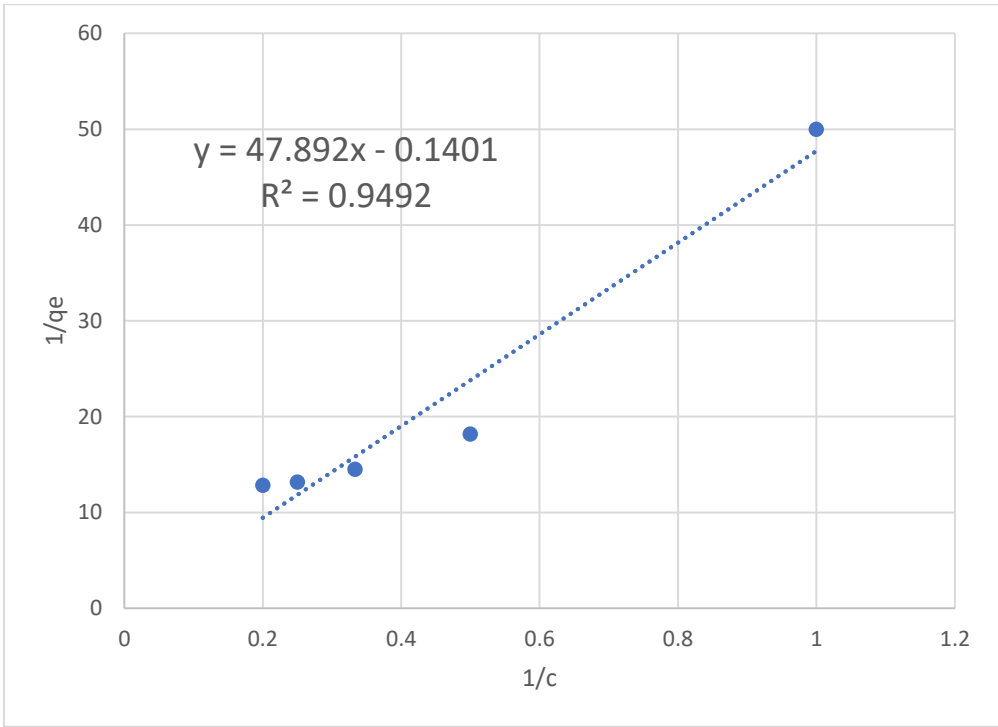
**n** -0.1401

De grafica

**Q°** 7.13775874

**b** 0.00292533





## ANEXO 10. Obtención de la Capacidad de Adsorción de los puntos de muestreo de las muestras de suelo

Con la fórmula de la Isotherma se obtuvo la capacidad de adsorción de mercurio en las muestras de suelos del Sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios, obteniendo los siguientes resultados:

$$q_e = \frac{BCQ^0}{(1 + bC)}$$

Donde:

$$Q^0 = -7.13775874$$

$$b = -0.00292533$$

C= Moles Hg/L

$$B \gg 1 \quad ; \quad B - 1 \cong B$$

**Tabla 20. Obtención de la capacidad de adsorción mediante la fórmula de Lagmuir de muestra de suelo por cuadrante tanto en época de lluvias como de seca**

SUELO				
CUADRANTE	LLUVIAS		SECAS	
	Moles Hg/L	q	Moles Hg/L	q
A1	4.64 X 10 <sup>-7</sup>	3.31 X 10 <sup>-6</sup>	1.06 X 10 <sup>-6</sup>	7.57 X 10 <sup>-6</sup>
A2	3.94 X 10 <sup>-7</sup>	2.81 X 10 <sup>-6</sup>	5.98 X 10 <sup>-6</sup>	4.27 X 10 <sup>-7</sup>
A3	7.93 X 10 <sup>-7</sup>	5.66 X 10 <sup>-6</sup>	2.59 X 10 <sup>-6</sup>	1.85 X 10 <sup>-6</sup>
A4	5.04 X 10 <sup>-7</sup>	3.60 X 10 <sup>-6</sup>	2.10 X 10 <sup>-6</sup>	1.50 X 10 <sup>-5</sup>
A5	8.28 X 10 <sup>-7</sup>	5.91 X 10 <sup>-6</sup>	3.78 X 10 <sup>-6</sup>	2.70 X 10 <sup>-5</sup>
A6	9.02 X 10 <sup>-7</sup>	6.44 X 10 <sup>-6</sup>	4.04 X 10 <sup>-7</sup>	2.88 X 10 <sup>-6</sup>
A7	4.79 X 10 <sup>-7</sup>	3.42 X 10 <sup>-6</sup>	2.99 X 10 <sup>-8</sup>	2.13 X 10 <sup>-7</sup>
A8	9.57 X 10 <sup>-7</sup>	6.83 X 10 <sup>-6</sup>	1.30 X 10 <sup>-6</sup>	9.28 X 10 <sup>-6</sup>
B1	9.17 X 10 <sup>-7</sup>	6.55 X 10 <sup>-6</sup>	2.15 X 10 <sup>-6</sup>	1.53 X 10 <sup>-5</sup>
B2	6.08 X 10 <sup>-7</sup>	3.43 X 10 <sup>-6</sup>	9.87 X 10 <sup>-7</sup>	7.04 X 10 <sup>-6</sup>
B3	4.69 X 10 <sup>-7</sup>	3.35 X 10 <sup>-6</sup>	2.48 X 10 <sup>-7</sup>	1.77 X 10 <sup>-6</sup>
B4	4.49 X 10 <sup>-7</sup>	3.20 X 10 <sup>-6</sup>	1.80 X 10 <sup>-6</sup>	1.28 X 10 <sup>-5</sup>
B5	1.62 X 10 <sup>-6</sup>	1.16 X 10 <sup>-5</sup>	1.14 X 10 <sup>-6</sup>	8.14 X 10 <sup>-6</sup>
B6	7.63 X 10 <sup>-7</sup>	5.45 X 10 <sup>-6</sup>	1.99 X 10 <sup>-6</sup>	1.42 X 10 <sup>-5</sup>
B7	5.73 X 10 <sup>-7</sup>	4.09 X 10 <sup>-6</sup>	7.33 X 10 <sup>-7</sup>	5.23 X 10 <sup>-6</sup>
B8	4.09 X 10 <sup>-7</sup>	2.92 X 10 <sup>-6</sup>	5.58 X 10 <sup>-7</sup>	3.98 X 10 <sup>-6</sup>
C1	3.09 X 10 <sup>-7</sup>	2.21 X 10 <sup>-6</sup>	1.58 X 10 <sup>-6</sup>	1.13 X 10 <sup>-5</sup>
C2	2.44 X 10 <sup>-7</sup>	1.74 X 10 <sup>-6</sup>	2.23 X 10 <sup>-6</sup>	1.59 X 10 <sup>-5</sup>
C3	4.19 X 10 <sup>-7</sup>	2.99 X 10 <sup>-6</sup>	1.02 X 10 <sup>-6</sup>	7.28 X 10 <sup>-6</sup>
C4	6.68 X 10 <sup>-7</sup>	4.77 X 10 <sup>-6</sup>	6.43 X 10 <sup>-7</sup>	4.59 X 10 <sup>-6</sup>
C5	1.46 X 10 <sup>-6</sup>	1.04 X 10 <sup>-5</sup>	6.63 X 10 <sup>-7</sup>	4.73 X 10 <sup>-6</sup>
C6	4.14 X 10 <sup>-7</sup>	2.96 X 10 <sup>-6</sup>	9.12 X 10 <sup>-7</sup>	6.51 X 10 <sup>-6</sup>
C7	3.09 X 10 <sup>-7</sup>	2.21 X 10 <sup>-6</sup>	8.62 X 10 <sup>-7</sup>	6.15 X 10 <sup>-6</sup>
C8	6.23 X 10 <sup>-7</sup>	4.45 X 10 <sup>-6</sup>	4.29 X 10 <sup>-7</sup>	3.06 X 10 <sup>-6</sup>
D1	5.33 X 10 <sup>-7</sup>	3.80 X 10 <sup>-6</sup>	8.97 X 10 <sup>-7</sup>	6.40 X 10 <sup>-6</sup>
D2	1.03 X 10 <sup>-6</sup>	7.35 X 10 <sup>-6</sup>	4.19 X 10 <sup>-7</sup>	2.99 X 10 <sup>-6</sup>
D3	4.49 X 10 <sup>-7</sup>	3.20 X 10 <sup>-6</sup>	8.62 X 10 <sup>-7</sup>	6.15 X 10 <sup>-6</sup>
D4	8.03 X 10 <sup>-7</sup>	5.73 X 10 <sup>-6</sup>	1.56 X 10 <sup>-6</sup>	1.11 X 10 <sup>-5</sup>
D5	7.33 X 10 <sup>-7</sup>	5.23 X 10 <sup>-6</sup>	1.59 X 10 <sup>-6</sup>	1.13 X 10 <sup>-5</sup>
D6	1.24 X 10 <sup>-6</sup>	8.85 X 10 <sup>-6</sup>	2.12 X 10 <sup>-6</sup>	1.51 X 10 <sup>-5</sup>
D7	1.10 X 10 <sup>-6</sup>	7.85 X 10 <sup>-6</sup>	2.12 X 10 <sup>-6</sup>	1.51 X 10 <sup>-5</sup>
D8	8.67 X 10 <sup>-7</sup>	6.19 X 10 <sup>-6</sup>	2.00 X 10 <sup>-6</sup>	1.43 X 10 <sup>-5</sup>
CENTRAL	9.47 X 10 <sup>-7</sup>	6.76 X 10 <sup>-6</sup>	1.77 X 10 <sup>-6</sup>	1.26 X 10 <sup>-5</sup>



**ANEXO 11. Prueba ANOVA para la concentración de mercurio por distancia tanto en época de Luvias como de Secas**

Se plantea que el centro de la minera del área de estudio es el punto más contaminado de mercurio, por lo que se utilizó la técnica de ANOVA para la verificación de este punto tomando como factor la distancia a partir del centro, tanto en épocas de lluvias como en épocas de secas.

**Tabla 21. Concentración promedio de mercurio por distancia en época seca. (ANOVA)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
distancia	4729242.38	7	675606.05	0.98	0.47
Error	16484590.5	24	686857.94		
Total	21213832.9	31			

A.					
Distancia		n	Medias		Grupos
	1	4	1481.75		A
	2	4	916.5		A
	3	4	633.5		A
	4	4	1945.75		A
	5	4	1373.25		A
	6	4	1320.25		A
	7	4	943.75		A
	8	4	1011.75		A

**Tabla 22. Concentración promedio de mercurio por distancia en época lluvia. (ANOVA)**

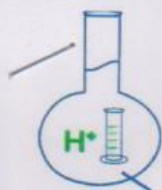
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
distancia	839180.88	7	119882.98	1.11	0.39
Error	2602220	24	108425.83		
Total	3441400.88	31			

Distancia		n	Medias		Grupos
1		4	679		A
2		4	590.25		A
3		4	559.75		A
4		4	687		A
5		4	1079.25		A
6		4	802.5		A
7		4	594		A
8		4	590.75		A

p-valor de 0.47 para ANOVA distancia del centro concentración de mercurio en época de secas y de 0.39 para para la época de lluvias. Se acepta que no existe diferencia significativa en los promedios de mercurio por la proximidad al centro de la explotación minera.

**ANEXO 12. Resultados de Análisis Físico – Químicos en laboratorio MC QUIMICALAB**



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

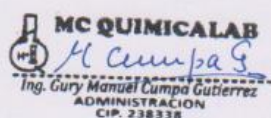
**INFORME N° LQ 0739A-21**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO**

SOLICITA : **Biga. Andrea Peña Contreras**

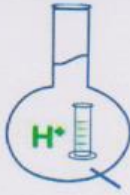
PROYECTO :  
 MUESTRA : **M<sub>1</sub> Central Diciembre 2020**  
                   **M<sub>2</sub> C<sub>4</sub> Diciembre 2020**  
                   **M<sub>3</sub> A<sub>3</sub> Diciembre 2020**

DISTRITO : Inambari  
 PROVINCIA : Tambopata  
 DEPARTAMENTO : Madre de Dios  
 CENTRO POBLADO : La pampa  
 FECHA DE INFORME : 30/12/2020  
 RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Humedad	%	6.3	13	8.5
<b>Muestra seca</b>				
Nitrógeno total	%	0.04	0.03	0.02
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	0.42	1.58	0.22
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.54	4.53	0.67
Materia orgánica	%	0.9	0.6	0.4
pH		5.1	5.1	5.2
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	90	680	100
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100	5	6	5
<b>Textura(malla 2 mm)</b>				
Arena	%	95.0	80.7	92.4
Arcilla	%	1.6	5.4	1.3
Limo	%	3.4	13.9	6.3
Clase textural		Arenoso	Arenoso	Arenoso
Humedad equivalente (He)	%	7	7	7
Densidad aparente	g/cc	1.5	1.3	1.6
Densidad real	g/cc	2.2	2.2	2.3
Capacidad de campo (C.C.)	%	8.68	8.68	8.68
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	3.80	3.80	3.80



*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N° LQ 0071-22**  
**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO**

SOLICITA : Blga. Andrea Peña Contreras

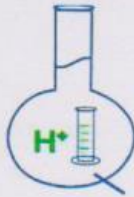
MUESTRA : M<sub>1</sub>: A1    M<sub>5</sub>: B2    M<sub>9</sub>: C2    M<sub>13</sub>: D2  
 M<sub>2</sub>: A3    M<sub>6</sub>: B4    M<sub>10</sub>: C4    M<sub>14</sub>: D4  
 M<sub>3</sub>: A5    M<sub>7</sub>: B6    M<sub>11</sub>: C6    M<sub>15</sub>: D6  
 M<sub>4</sub>: A7    M<sub>8</sub>: B8    M<sub>12</sub>: C8    M<sub>16</sub>: D8  
 M<sub>17</sub>: Muestra Central

DISTRITO : Inambari  
 PROVINCIA : Tambopata  
 DEPARTAMENTO : Madre de Dios  
 CENTRO POBLADO : La pampa  
 RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>7</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>6</sub>
Humedad	%	2.5	7.0	9	3.5	9.6	15	8
<b>Muestra seca</b>								
Nitrógeno total	%	0.03	0.015	0.07	0.05	0.04	0.03	0.019
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.04	0.24	1.32	0.87	1.23	0.76	0.35
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.7	0.27	0.95	0.76	1.00	0.6	0.87
Materia orgánica	%	0.6	0.3	0.4	0.4	0.8	0.6	0.5
pH		6.5	5.0	6.0	5.9	6.4	6.4	5.5
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	260	40	120	80	130	100	160
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100	9	5				14	
<b>Textura(malla 2 mm)</b>								
Arena	%	87	91.6	76	85	91	18.3	45
Arcilla	%	0.1	3.9	4.8	5.2	3.5	2.5	3
Limo	%	12.9	4.5	19.2	9.8	5.5	79.2	52
Clase textural		Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Limoso	Limoso
Humedad equivalente (He)	%	8	7	13	9	14	21	19
Densidad aparente	g/cc	1.56	1.5	1.67	1.23	1.44	1.27	1.12
Densidad real	g/cc	2.2	2.3	2.44	2.01	2.24	2.35	2.43
Capacidad de campo (C.C.)	%	9.5	8.68	11.24	7.54	12.54	20.8	18.3
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	4.3	3.80	5.4	3.24	7.6	11.4	8.7

**MC QUIMICALAB**  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACIÓN  
 CIP. 238338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18180



# MC QUIMICALAB

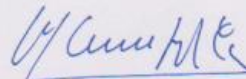
De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

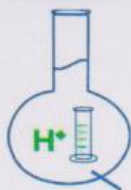
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

DETERMINACIONES	UNIDAD	B <sub>8</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>8</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>
Humedad	%	7.5	8.6	12	5.4	2.5	5.7	7
<b>Muestra seca</b>								
Nitrógeno total	%	0.005	0.01	0.1	0.03	0.005	0.01	0.005
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.2	0.87	0.52	0.35	0.1	0.23	0.65
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.6	1.22	2.53	1.13	0.4	0.35	0.53
Materia orgánica	%	0.1	1.2	2.0	0.4	0.1	0.5	0.1
pH		6.7	5.8	5.1	6.2	6.6	5.8	6.7
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	100	150	380	120	60	100	80
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100	8		8		6		6
<b>Textura(malla 2 mm)</b>								
Arena	%	89	77	60.23	86.4	99.3	83	88.6
Arcilla	%	0.1	1.65	2.97	4	0.0	0.5	0.0
Limo	%	10.9	21.35	36.8	9.6	0.7	16.5	11.4
Clase textural		Arenoso	Arenoso	Arenoso Limoso	Arenoso	Arenoso	Arenosa	Arenosa
Humedad equivalente (He)	%	7	8	10	6	7	8	8
Densidad aparente	g/cc	1.62	1.35	1.2	1.11	1.63	1.58	1.66
Densidad real	g/cc	2.2	1.87	1.9	1.85	2.2	2.12	2.5
Capacidad de campo (C.C.)	%	8.7	6.7	11.27	9.4	8.7	7.6	9.5
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	3.8	4.2	5.43	4.5	3.8	3.8	4.3


**MC QUIMICALAB**  
*M. Cumpa G.*  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACIÓN  
 CIP. 238338

  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUIMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

DETERMINACIONES	UNIDAD	D <sub>6</sub>	D <sub>8</sub>	central
Humedad	%	10.2	14.5	6.5
<b>Muestra seca</b>				
Nitrógeno total	%	0.04	0.03	0.05
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.5	1.0	0.42
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.9	2.5	0.53
Materia orgánica	%	0.5	0.6	1
pH		5.9	6.8	5.0
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	180	380	80
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100		14	5
<b>Textura(malla 2 mm)</b>				
Arena	%	35	15.3	95.5
Arcilla	%	7	16.5	1.5
Limo	%	58	68.2	3
Clase textural		Limoso arcilloso	Limoso arcilloso	Arenoso
Humedad equivalente (He)	%	10	27	7
Densidad aparente	g/cc	1.34	1.38	1.6
Densidad real	g/cc	2.1	2.2	2.4
Capacidad de campo (C.C.)	%	11.6	26	8.68
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	6.9	14.7	3.80

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18108

**ANEXO 13. correlación de la concentración promedio de mercurio con respecto a las características físicas y químicas en el suelo**

**Tabla 23. Correlación concentración promedio de mercurio y características físico químicas**

	Concentración de mercurio en suelo (época lluvia)		Concentración de mercurio en suelo (época de secas)		
	<b>Pearson</b>	<b>Sig.</b>	<b>Pearson</b>	<b>Sig.</b>	
Características físico químicas	<b>Densidad real</b>	<b>0.375</b>	0.138	<b>0.37</b>	0.144
	<b>Arena</b>	<b>-0.226</b>	0.383	<b>-0.424</b>	<b>0.09</b>
	<b>Limo</b>	0.199	0.444	<b>0.419</b>	<b>0.094</b>
	<b>Humedad</b>	0.155	0.553	<b>0.449</b>	<b>0.071</b>
	<b>Arcilla</b>	0.303	0.236	<b>0.287</b>	0.264
	<b>Humedad</b>	0.119	0.65	<b>0.423</b>	<b>0.09</b>
	<b>Punto de marchitez</b>	0.147	0.573	<b>0.392</b>	0.119
	<b>Capacidad de campo</b>	0.146	0.577	<b>0.368</b>	0.147
	<b>Nitrógeno</b>	0.145	0.58	<b>0.21</b>	0.419
	<b>Densidad aparente</b>	<b>0.24</b>	0.353	0.079	0.763
	<b>Potasio</b>	0.086	0.744	<b>0.225</b>	0.386
	<b>Fosforo</b>	-0.088	0.737	0.34	0.182
	<b>pH</b>	<b>-0.281</b>	0.274	0.046	0.861
	<b>Conductividad</b>	0.063	0.812	0.159	0.543
	<b>distancia</b>	-0.08	0.76	-0.092	0.726
<b>Materia orgánica</b>	-0.078	0.765	0.073	0.779	

En la Tabla N°25 observamos la relación de las características físico químicas del suelo con las concentraciones de mercurio, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para la interpretación de los valores más altos de este y también considerando el valor de significancia inferiores a 0.10.

**ANEXO 14. correlación de la concentración promedio de mercurio en vegetación con respecto a las características físicas y químicas del suelo**

**Tabla 24. Características físico-químicas y Mercurio en las plantas**

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS	CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN VEGETACIÓN	
	Pearson	Sig.
Materia orgánica	<b>-0.758</b>	<b>0.018</b>
Conductividad	<b>-0.628</b>	<b>0.07</b>
Potasio	<b>-0.588</b>	<b>0.096</b>
Nitrógeno	-0.562	0.115
Punto de marchitez	-0.511	0.16
Humedad	-0.51	0.16
Capacidad de campo	-0.51	0.161
Arcilla	-0.452	0.222
Arena	0.431	0.247
Limo	-0.414	0.268
Densidad aparente	0.402	0.283
distancia	0.203	0.6
Densidad real	-0.118	0.762
pH	0.113	0.771
Humedad	-0.088	0.823
Fosforo	0.017	0.966

En la tabla N°26 se observa los valores de materia orgánica, conductibilidad eléctrica y Potasio que presentan un nivel de significancia con relación a las demás características físico químicas

**ANEXO 15. correlación de la concentración de mercurio en la vegetación en época de lluvias y de secas**

**Tabla 25. Concentración de Mercurio en Vegetación en época de Lluvia**

Concentración mercurio en vegetación época lluvia			
	<b>N</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Concentración mercurio en suelo época lluvia	11	-0.147	0.666

El cuadro N°24 indica la concentración de mercurio en la vegetación en época de lluvias, con un coeficiente de correlación de -0.147 y sig de 0.666, se acepta que las concentraciones de mercurio en el suelo no representan las concentraciones de mercurio en las plantas en la época de lluvia, debido a que el mercurio se dispersa rápidamente en la época de lluvia por acción del agua.

**Tabla 26. Concentración de Mercurio en vegetación en época de seca**

Concentración mercurio en vegetación época seca			
	<b>N</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	<b>Sig. (bilateral)</b>
Concentración mercurio en suelo época seca	10	0.489	0.151

En el cuadro N°25 se observa la concentración de mercurio en la vegetación en épocas de secas, con un coeficiente de correlación de 0.489 y un sig de 0.151, el cual nos indica que existe una ligera tendencia en la transferencia del mercurio del suelo a la vegetación en el Sector de Laberinto – Tambopata – Madre de Dios.



## ANEXO 16. Certificación taxonómica de muestras vegetales



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL  
N° 921 - Cusco - Perú
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- RECTORADO  
Calle Tigre N° 127  
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- CIUDAD UNIVERSITARIA  
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210  
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- LOCAL CENTRAL  
Plaza de Armas s/n  
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- MUSEO INKA  
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA  
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"  
Av. De la Cultura N° 721  
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

## HERBARIO VARGAS CUZ

### CERTIFICADO DE DETERMINACIÓN TAXONÓMICA N° 009-2022-HVC-FC-UNSAAC

La Directora del Herbario Vargas CUZ, Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), deja constancia que: que: la Bachiller en Biología **Liz Andrea Peña Contreras**, con proyecto de investigación "DISTRIBUCION Y ADSORCION DE MERCURIO EN MINERIA ABANDONADA EN EL SECTOR DE LABERINTO – TAMBOPATA – PUERTO MALDONADO" para la obtención del grado de Magister de la Maestría de Ecología y Gestión Ambiental, ha presentado a la Dirección del Herbario Vargas CUZ, nueve (09) muestras botánicas para su determinación taxonómica (expediente N° 442076), las que al ser diagnosticadas por el Mgt. Abel Monteagudo Mendoza, utilizando claves dicotómicas, consulta con bibliografía especializada, y comparación con muestras del herbario, concuerdan con las siguientes especies; de acuerdo a la clasificación del Grupo del Sistema Filogenético de las Angiospermas (Angiosperm Phylogeny Group- APG IV, 2016).

N°	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE LOCAL
1	Urticaceae	<i>Cecropia</i> sp.	"cético"
2	Cyatheaceae	<i>Cyathea</i> sp.	"sano-sano"
3	Poaceae	<i>Brachiaria</i> sp.	"pasto"
4	Zingiberaceae	<i>Hedygium coronarium</i> J. Koenig	"caña brava"
5	Euphorbiaceae	<i>Aparisthium cordatum</i> (A. Juss.) Baill.	"oreja de elefante"
6	Cannaceae	<i>Canna</i> sp.	"platanillo"
7	Fabaceae	<i>Senna</i> cf. <i>reticulata</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	"pinta pacaya"
8	Euphorbiaceae	<i>Mabea</i> sp.	"paca"
9	Fabaceae	<i>Bauhinia</i> sp.	"achotillo"

Se le expide la presente certificación a petición formal de la interesada para los fines que vieran por conveniente.

Cusco, 25 de julio de 2022

Blga. María Luisa Ochoa Cámara  
Directora del Herbario Vargas CUZ

