UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Denominación del Título a Obtener

INGENIERO AMBIENTAL

Título del Proyecto de Investigación

ANÁLISIS DE TRES TIPOS DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LA PARROQUIA PUERTO MURIALDO, PROVINCIA ORELLANA - ECUADOR.

Autores

ANDY AGUINDA MARLON PAUL

GREFA LICUY LUIS MIGUEL

DIRECTOR DEL PROYECTO

MSc. SARABIA GUEVARA DANILO PEDRO

PASTAZA – ECUADOR

2021-2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Andy Aguinda Marlon Paul y Grefa Licuy Luis Miguel con C.I. 2200180491 y 1500941057, hacemos constar que somos autores del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: ANÁLISIS DE TRES TIPOS DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LA PARROQUIA PUERTO MURIALDO, PROVINCIA ORELLANA, ECUADOR, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Msc. Sarabia Guevara Danilo Pedro con CI. 1600452930 en tal sentido, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio del 2021.



Estudiante
Marlon Andy
CI: 2200180491



Estudiante
Luis Grefa
CI: 1500941057

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: ANÁLISIS DE TRES TIPOS DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LA PARROQUIA PUERTO MURIALDO, PROVINCIA ORELLANA – ECUADOR.

Firmado electrónicamente por:
PEDRO DAMIAN RIOS GUAYASAMIN

_____

Dr/Msc Ríos Guayasamín Pedro Damián

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
JESUS ANONIO BONILLA DE GRACIA

_____

Dr/Msc Bonilla de Gracia Jesús Antonio

Miembro del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR

_____

Dr/Msc Cuichan Paucar Santiago Homero

Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente MSc. Sarabia Guevara Danilo con CI: 1600452930, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "ANÁLISIS DE TRES TIPOS DE CULTIVOS DE COBERTURA PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS EN LA PARROQUIA PUERTO MURIALDO, PROVINCIA ORELLANA – ECUADOR", ha sido analizado a través del sistema Antiplagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 4 %.

En el cantón Pastaza, a los 16 días del mes de julio del 2021.



Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

_____

Msc. Danilo Sarabia

Director del Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Andy Aguinda Marlon Paul y Grefa Licuy Luis Miguel, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular.



Marlon Paul Andy Aguinda

No. Cédula: 2200180491



Luis Miguel Grefa Licuy

No. Cédula: 1500941057

Agradecimiento

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por darme todas las oportunidades de crecer en la parte académica, gracias a ellos por confiar, creer plenamente en mi cada día y en mis expectativas, por apoyarme en todo momento incondicionalmente, desear, anhelar, lo mejor para mi vida, gracias por cada una de las palabras y consejos que han dado durante mi vida.

Agradezco a mis tíos y a toda mi familia, por darme palabras de ánimo para poder llegar a culminar mis estudios, por motivarme con sus sabios consejos en los momentos más difíciles de mi vida.

Agradezco a todos los docentes de la Universidad Estatal Amazónica por haber compartido sus conocimientos, sus experiencias en el proceso de la preparación de nuestra profesión para poder adquirir un mejor nivel académico y por ayudar crecer como persona.

Agradezco al MSc. Danilo Sarabia, tutor de nuestro proyecto de investigación, por orientarnos a realizar de una mejor manera este proyecto, por motivarnos a mí y a mi compañero a mantener la constancia, esfuerzo y esmero.

Marlon Andy

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera estudiantil, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

A mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, y haber depositado su confianza y creer en mí y en mis expectativas apoyándome de manera incondicional, gracias por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida para lograr llegar a concluir con éxito esta tan anhelada meta.

A la Universidad la Universidad Estatal Amazónica por haberme brindado la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución, a mi Facultad de Ciencias de la Vida, en donde puede conocer a mis amigos, compañeros, docentes y autoridades que contribuyeron con sus conocimientos y apoyo durante este proceso de formación, para felizmente lograr cumplir uno de mis sueños que es convertirme en Ingeniero Ambiental, profesión que con el pasar de los años logre amarlo.

De igual manera agradezco al MSc. Danilo Sarabia, tutor de nuestro proyecto de investigación por el apoyo, la exigencia, y entrega incondicional durante el desarrollo de este proyecto y por motivarnos a mí y a mi compañero a mantener la constancia y el esfuerzo a lo largo de este proceso.

Miguel Grefa

Dedicatoria

Dedico con todo corazón este proyecto principalmente a mis padres Luis Andy y Corina Aguinda ya que gracias al apoyo incondicional de ellos tanto moral y económica, he podido continuar mis estudios superiores, mediante su esfuerzo, su tiempo, su amor y que a través de sus valores que me inculcaron he podido llegar hasta donde me encuentro hoy en día.

A mi hermana Vanesa, mis hermanos Erick y Wellington, que gracias a ellos he podido continuar adelante sin desmayarme en la mitad de mi vida universitaria, mediante su ayuda y cariño incondicional que me brindaron, ya que ellos son personas motivadoras que han influido directamente en mi formación académica para llegar hacer un profesional de la patria.

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que creyeron en mí y en mis sueños, de lo que era capaz de alcanzar y de lograr con cada uno de los objetivos propuestos con dedicación, esfuerzo, esmero y mucho sacrificio.

Y por último a mis amigos los cuales me acompañaron desde los primeros días de mi vida universitaria, con los que vivimos momentos de alegría, tristeza y así mismos momentos difíciles pero que por el momento se los guarda con mucho cariño.

Marlon Andy

Dedicatoria

Mi proyecto la dedico con todo mi amor primeramente a Dios, por darme sabiduría, una familia maravillosa, por cuidarme, guiarme y permitirme llegar hasta este punto para lograr mis objetivos.

De igual manera se la dedico a mis padres Francisco Grefa y Teresa Licuy ya que gracias a ellos con su esfuerzo, dedicación, trabajo diario y su amor incondicional he podido seguir adelante y superar las dificultades que se presentaron en el transcurso de mi camino universitario y hoy pueda cumplir mi sueño.

A mis hermanas, amigos y maestros quienes fueron un gran apoyo en mi formación académica, brindándome sus enseñanzas, y llenándome de alegría para que el camino sea menos difícil.

A una persona muy en particular que fue mi compañía en la etapa de mi vida, por darme ánimos para seguir en busca de mis metas, apoyarme en los días más difíciles y ser el motivo de superación personal.

Y finalmente a mis amigos los cuales estuvieron desde los primeros días mí carrera universitaria con los que hemos pasados grandes y gratos momentos que ahora se los guarda con mucho aprecio.

Miguel Grefa

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se basó en la búsqueda de información en varias fuentes bibliográficas de experiencias anteriormente ejecutadas en temas de remediación con cultivos de cobertura para la recuperación de suelos contaminados utilizando especies vegetales de las familias Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae, de las cuales se formó un análisis comparativo para la utilización de técnica de fitorremediación con plantas fitoextactoras de contaminantes, las especies vegetales sometidas a este análisis fueron la *Coix lacryma jobi*, *Phaseolus vulgaris* y *Ipomoea batatas*. Ya que la fitorremediación en la actualidad es considerada una de las tecnologías innovadoras y de bajos costos de operación, en donde utilizan especies vivas para remover, eliminar o transformar compuestos tóxicos.

Donde se pudo profundizar los diferentes aspectos, como las características de las especies vegetales y así mismo se reconoció las propiedades extractivas que tienen las especies y que a la vez son utilizadas como cultivos de cobertura, se analizó la funcionalidad en recuperación de suelos contaminados, con el fin de llegar a obtener en un futuro valores que nos permitan dar a conocer el porcentaje de remoción que realizan estas plantas, debido a que no hay estudios que brinden estos valores reales. Como medio de alternativa para la recuperación de suelos contaminados por el proceso de fitorremediación se utilizará el método de fitoextracción, tecnología que se fundamenta en reducir la concentración de contaminantes en las plantas, se estructuró una propuesta de fitorremediación utilizando las tres especies vegetales en estudio, en el que se sugiere realizar un diseño completamente aleatorio (DCA) con 4 tratamientos (T1: *Coix lacryma jobi*, T2: *Phaseolus vulgaris*, T3: *Ipomoea batatas* y T4: *Coix lacryma jobi* + *Phaseolus vulgaris* + *Ipomoea batatas*) y 4 repeticiones por cada tratamiento en un área de 5000 m2. Que permitirá evaluar in situ la eficiencia en la remoción de contaminantes en el suelo.

Palabras Claves: remediación, recuperación, fitorremediación, fitoextracción, aleatorio

ABSTRACT

This research project was based on the search for information in several bibliographic sources of experiences previously carried out in remediation with cover crops for the recovery of contaminated soils using plant species of the Poaceae, Fabaceae and Convolvulaceae families, from which a comparative analysis was made for the use of phytoremediation techniques with phytoextractor plants of contaminants, the plant species subjected to this analysis were *Coix lacryma jobi*, *Phaseolus vulgaris* and *Ipomoea batatas*. Phytoremediation is currently considered one of the innovative technologies with low operating costs, where living species are used to remove, eliminate or transform toxic compounds.

The different aspects were studied in depth, such as the characteristics of the plant species and the extractive properties of the species, which are also used as cover crops, were recognized. The functionality in the recovery of contaminated soils was analyzed in order to obtain in the future values that will allow us to know the percentage of removal that these plants perform, since there are no studies that provide these real values. As an alternative means for the recovery of contaminated soils by the phytoremediation process, the phytoextraction method will be used, a technology that is based on reducing the concentration of contaminants in plants: Coix lacryma jobi, T2: *Phaseolus vulgaris,* T3: *Ipomoea batatas* and T4: *Coix lacryma jobi + Phaseolus vulgaris + Ipomoea batatas*) and 4 replicates for each treatment in an area of 5000 m2. This will allow an in-situ evaluation of the efficiency in the removal of contaminants in the soil.

Keywords: remediation, recovery, phytoremediation, phytoextraction, random

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN ix

ABSTRACT x

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Planteamiento del problema 2

1.2 Formulación del problema 3

1.3 Objetivos 3

1.3.1 Objetivo General 3

1.3.2 Objetivos Específicos 3

1.4 Justificación 4

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5

2.1 Suelos 5

2.2 Contaminación de suelo 5

2.3 Degradación de suelos 5

2.4 Degradación de suelo por salinización 6

2.5 Erosión de suelos 6

2.6 Propiedades físicas 6

2.7 Propiedades químicas 7

2.8 Cultivo de cobertura 7

2.9 Poaceae (Gramínea) 7

2.9.1 Trigo amazónico 8

2.9.2 Clasificación taxonómica del trigo amazónico 8
2.9.3 Morfología 8
2.9.4 Potencial de producción y calidad nutricional del trigo amazónico 9
2.10 Fabácea (Leguminosa) 9
2.10.1 Frejol rojo 10
2.10.2 Clasificación taxonómica del frejol rojo 10
2.10.3 Morfología 11
2.10.4 Composición química nutricional del frejol 12
2.11 Convolvulaceae 12
2.11.1 Camote 13
2.11.2 Clasificación taxonómica del camote 13
2.11.3 Morfología 13
2.11.4 Contenido nutricional 15
2.12 La biomasa 15
2.13 Fitorremediación 16
2.13.1 Ventajas y desventajas de la fitorremediación 16
2.13.2 Tipos de fitorremediación 17
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 19
3.1 Localización 19
3.2 Tipo o diseño de investigación 20
3.3 Métodos de investigación 21
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS 23
4.1 Características y propiedades nutricionales de minerales de cultivos de cobertura 23
4.1.1 Caracterización de las especies utilizadas 23
4.1.2 Propiedades nutricionales de minerales de especies utilizadas 28
4.2 Experiencias de fitorremediación con familias Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae .31

4.3 Propuesta de diseño experimental para la fitorremediación de suelos contaminados.....36

CONCLUSIONES 38

RECOMENDACIONES.....39

REFERENCIAS.....40

ANEXOS 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Ventajas y desventajas de la fitorremediación 16

Tabla 2-4: Especie vegetal trigo amazónico..... 23

Tabla 3-4: Especie vegetal del frejol rojo 25

Tabla 4-4: Especie vegetal del camote 26

Tabla 5-4: Contenido nutricional de minerales del trigo amazónico 28

Tabla 6-4: Contenido nutricional de minerales del frejol rojo..... 28

Tabla 7-4: Contenido nutricional de minerales del camote 29

Tabla 8-4: Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo 32

Tabla 9-4: Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el frejol..... 34

Tabla 10-4: Remoción del antraceno inicial en suelo y antraceno residual en las raíces de frijol 35

Tabla 11-4: Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Camote 35

Tabla 12-4: Identificación de especies, tratamientos y repeticiones..... 36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Mapa del modelo territorial deseado 19

Figura 2-4. Fotografía de la especie trigo amazónico 23

Figura 3-4. Fotografía de la especie frejol rojo 25

Figura 4-4. Fotografía de la especie del camote 26

Figura 5-4. Temperatura de las plantas para su adaptabilidad 30

Figura 6-4. Adaptabilidad mediante el pH del suelo 30

Figura 7-4. Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo 33

Figura 8-4. Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo 33

Figura 9-4. Diseño completamente aleatorio de especies de estudio 36

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El suelo es distinguido como uno de los recursos no renovables con relación al nivel del tiempo, es decir, que su degradación y su perdida no son reversibles en la trayectoria de la vida humana. Es nuestro deber y obligación como seres humanos la conservación para las futuras generaciones, utilizándolo de una forma correcta en las diversas actividades desarrolladas, tomando en cuenta siempre el concepto de la sostenibilidad del recurso suelo (FAO, 2015). En la actualidad la técnica de biorremediación por fitorremediación en fase solida es denominada como una de las tecnologías innovadoras y considerado de bajo costo de operación, en donde utiliza especies vivas para remover, eliminar o transformar compuestos tóxicos (Flores y Mendoza, 2017). Existe una diversidad de plantas que pueden ser utilizadas como cultivos de cobertura, las leguminosas (Fabaceae) y gramíneas (Poaceae) son los más utilizados porque específicamente son considerados hiperacumuladores de contaminante, pero actualmente hay otras familias fitorremediadoras que pueden ser Rubiaceae, Malvaceae, Lamiaceae, Sterculiaceae Convolvulaceae y Asteraceae, etc., según estudios realizados en la actualidad (Valencia *et al*., 2017).

Es indudable que los suelos están cada vez más contaminados por actividades antropogénicas, por tal motivo se ha buscado nuevas tecnologías que ayuden a prevenir y a reducir los impactos ambientales negativos en este caso los cultivos de cobertura. Los cultivos de cobertura están constituidos de una cobertura vegetal viva que pueden ser temporal o permanente que permite proteger el suelo, es cultivada de manera asociativa, rotativa o intercalada con diferentes plantas. Es considerada a nivel mundial como una de las alternativas factibles para mantener o sostener la fertilidad de los suelos, porque previenen la perdida de nutrientes por escurriendo y lavado. Los métodos de cultivos de cobertura aportan grandes beneficios como son la reducción de erosión, contaminación, presión de insectos, conservan la humedad, protegen la calidad de agua, reducen el uso de herbicidas, pesticidas y fertilizantes entre otros factores (Ligña, 2014).

El objetivo de esta investigación es proponer una alternativa para la recuperación de suelos contaminados con cultivos de cobertura en el sector de la parroquia puerto Murialdo, utilizando la técnica de fitorremediación con plantas fitoextactoras de contaminantes de la familia Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae. En este trabajo de investigación se utilizaron plantas de importancia

alimenticia, trigo amazónico, frejol rojo y el camote, por lo que es primordial conocer su indispensable potencial fitorremediadora, el efecto de contaminantes sobre ellas y el alcance de estos en las partes comestibles como son sus semillas y el tubérculo, para poder determinar si presenta un riesgo o no a la salud humana al consumir este producto, después de haber aplicado el proceso de descontaminación.

1.1 Planteamiento del problema

El Ecuador se caracteriza por la gran variedad y la riqueza de sus recursos naturales renovables y en particular del recurso suelo. Muy temprano, el hombre supo aprovechar estas condiciones y desarrollar una agricultura floreciente que se distingue por sus producciones de una notable diversidad donde alternan productos tropicales y de clima templado. Sin embargo, poco a poco la erosión y contaminación ha venido afectando a los suelos agrícolas. En forma general, este aspecto ha sido descuidado por el hombre principalmente a partir de la conquista, sea por despreocupación frente a la abundancia de los recursos naturales o la falta de experiencia en materia de conservación de los suelos (Trujillo y Georges, 2016).

La ampliación de la frontera agrícola se dio porque existió apoyo por parte del estado para la producción de cacao, maíz y café los más representativos, sin embargo, para incrementar la producción se empezó a utilizar fertilizantes y entre otros químicos sin medida, los que han provocado su contaminación y una pérdida considerable de elementos nutritivos y minerales de los suelos (Barrera *et al*., 2018).

En la Región Amazónica ecuatoriana especialmente en la parroquia Puerto Murialdo del cantón Loreto, provincia de Orellana, hace muchos años atrás, no era afectada por los procesos erosivos, debido a que la vegetación era natural y protegía a los suelos. Sin embargo, esto empezó a cambiar por distintos aspectos, como la agricultura no tecnificada, inicio de tala de bosques y la introducción de las empresas petroleras a la zona (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Murialdo- PDOTM, 2019).

Conforme a lo mencionado anteriormente el presente trabajo de investigación curricular de revisión bibliográfica hace referencia a un análisis sobre la utilización de tres tipos de cultivos de cobertura, que están compuesto de trigo amazónico, frejol rojo y camote, en los suelos

contaminados del sector de la parroquia Puerto Murialdo, debido a que ayudan mejorando su estructura, así como el aumento de retención de agua y elementos nutritivos para las plantas.

1.2 Formulación del problema

¿Los tipos de cultivos de cobertura Trigo Amazónico (*Coix lacryma jobi),* Frejol Rojo *(Phaseolus vulgaris),* Camote *(Ipomoea batatas)* seleccionadas serán efectivas en el desarrollo de la recuperación de suelos contaminados en la Provincia de Orellana, Cantón Loreto, Parroquia Puerto Murialdo?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Realizar una revisión bibliográfica de tres tipos de cultivos de cobertura (Poaceae; *Coix lacryma jobi*, Fabaceae; *Phaseolus vulgaris* y Convolvulaceae; *Ipomoea batatas*) para la recuperación de suelos contaminados en la parroquia Puerto Murialdo, Provincia Orellana, Ecuador.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de literatura de las características y propiedades nutricionales de minerales de: *Coix lacryma jobi, Phaseolus vulgaris, Ipomoea batatas.*
- Investigar experiencias de fitorremediación utilizando especies de las familias (Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae).
- Analizar el método adecuado para la recuperación de suelos contaminados utilizando las tres especies en estudio, *Coix lacryma jobi, Phaseolus vulgaris, Ipomoea batatas.*

1.4 Justificación

El suelo es uno de los recursos naturales finito y por ende no renovable, catalogado como una estructura de soporte para todos los seres vivos del planeta ya que provee los alimentos y materias primas, siendo el sostén de actividades humanas, principalmente de la agricultura. Es decir, degradar el suelo implica una degradación directa sobre la calidad de vida humana. Por ello realizar un manejo adecuado, es garantizar su sostenibilidad ya que el 95% de la producción mundial de alimentos depende del recurso suelo y un manejo inadecuado ocasionaría una disminución en el abastecimiento de alimentos (Andrade, 2020).

Basándome en la cita de Andrade, surgió la necesidad de realizar un análisis investigativo sobre la contaminación debido a la problemática que se ha generado a lo largo y ancho de la parroquia. Entre las causas principales se evidencia la erosión, degradación y perdida de fertilidad en la estructura del suelo, debido al avance de la frontera agrícola, ocasionado principalmente por: agricultura individual extensiva, sin tecnificación, el uso intensivo de insumos agrícolas para el mejoramiento de la producción y por ello buscamos la necesidad de una investigación acorde a la problemática para en un futuro aplicar un proyecto investigativo experimental con la finalidad de ayudar a la población del sector (Andrade, 2020).

Otra de las causas considerada de mucha influencia en la zona de la parroquia, es la contaminación petrolera ya sea en zonas agrícolas, así también como en áreas verdes, debido a esos factores negativos carece de vegetación, por el cual se buscó alternativas mediante cultivos de cobertura (trigo amazónico, frejol rojo, camote), ya que dichas especies señaladas poseen gran cantidad de biomasa para la recuperación de suelos contaminados (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Murialdo- PDOTM, 2019).

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Suelos

El suelo es un conjunto de cuerpo natural superficial de la tierra, el cual está conformado por sólidos, esencialmente de materia minerales y materia orgánica así también de materia líquida y gaseosa. Considerado fundamental y de mucho valor para el sustento de la vida, proporcionado por el intercambio de materia y energía entre lo vivo y lo inerte, por tal motivo es la base primordial para efectuar cualquier proyecto de carácter agrícola, forestal, pecuario y entre otros (Campaña, 2020).

El suelo es muy fundamental para las culturas y el territorio, ya que son la base primordial de la vida, garantizando las actividades humanas, combinadas por macroorganismos y microorganismos que garantizan los procesos de flujo de transformación y transferencia de materia y energía, contribuyendo a las reacciones biogeoquímicas suministrando la dinámica y complejidad (Reyes y Roca, 2020).

2.2 Contaminación de suelo

La contaminación del suelo se refiere a una transformación fuera de lo normal, ya sea de características químicas, biológicas o antropogénicas en el suelo, las principales fuentes de estas contaminaciones son evidenciadas en la agricultura por la inadecuada aplicación de plaguicidas y las explotaciones hidrocarburìferas. Usualmente la contaminación del suelo no puede ser evaluada simplemente o vista, transformándose en un peligro oculto ya que ciertos contaminantes pueden suceder espontáneamente en los suelos como los componentes de minerales las cuales pueden ser tóxicos en concentraciones altas (Rodríguez *et al.*, 2019).

2.3 Degradación de suelos

Se define como un proceso de alteración a las propiedades o características químicas, físicas y biológicas de la tierra, tanto en un ecosistema natural y el medio social humano. También el ecosistema natural es alterado por la presencia de acontecimientos climáticos extremos y persistentes, donde el entorno humano es el protagonista principal en provocar los efectos negativos hacia el ecosistema mediante la transformación del uso del suelo, mediante la deforestación, expansión urbana, eliminación de la cubierta vegetal y entre otros. Incluso las malas

prácticas culturales en la actividad agrícola como son el uso y abuso en la aplicación de fertilizantes, pesticidas, la inadecuada rotación de cultivos, el excesivo pastoreo de animales, mala aplicación de los sistemas de riego y los equipos agrícolas, los cuales se consideran los causantes principales de la degradación del suelo (Montatixe y Eche, 2020).

2.4 Degradación de suelo por salinización

Según (Reyes y Roca, 2020) la degradación por salinización puede acontecer especialmente por factores culturales, económicos y sociales, consiguiendo como consecuencia la sobre explotación de recursos naturales y además la aplicación de prácticas inadecuadas sobre el manejo tanto de agua y suelo. Los procesos de salinización se dan de carácter antrópico como la extrema aplicación de fertilizantes, inundaciones con nacimientos salinas, aplicación de riegos con aguas con altos contenidos de sal, procesos naturales como sequías y climas áridos, vertimiento de aguas servidas y/o residuales industriales o minerales, avenamiento que originan oxidación de azufre y erosión que proporciona el afloramiento de horizontes o capas salinas. Disminuyendo así el rendimiento agrícola e influyendo a los servicios y productos ambientales que nos proporciona el suelo.

2.5 Erosión de suelos

Es un término común que se confunde muy a menudo con el significado de degradación del suelo, porque objetivamente se puntualizan las pérdidas o desgastes absolutas de nutrientes en el manto del suelo superficial. De modo, la erosión es el efecto más notorio en la degradación, ya que menciona que es un desplazamiento de una capa superior, el cual que se puede darse de manera natural en zonas montañosas, las cuales puede empeorar por a malas prácticas de manejo en el suelo o problemas ambientales (Delle, 2020).

2.6 Propiedades físicas

Las propiedades físicas pueden ser fundamentales, aquellas que no se derivan de otras y se encuentran dentro de este grupo está el color, la densidad, la textura, la estructura, la consistencia, la temperatura. Dichas características físicas son en gran parte responsables del buen desarrollo de las plantas. Pero rara vez se consideran, porque generalmente solo se consideran las propiedades químicas, de hecho, para tener un entorno de crecimiento vegetal óptimo, debe haber interacciones dinámicas entre las características químicas y físicas (Calderón *et al*., 2018).

2.7 Propiedades químicas

Estas propiedades se relacionan con la disponibilidad y calidad importantes de micronutrientes (Fe, Mn, Co,2n; B, MO, Cl) y macronutrientes (N, P, Ca, Mg, K, S) que son indispensables para las plantas. También poseen un gran valor porque nos permiten conocer las cualidades del suelo cuando se provocan reacciones o cambios químicos que puedan alteran la acción y composición de los mismos (Calderón *et al*., 2018).

2.8 Cultivo de cobertura

Los cultivos de cobertura comprenden el uso de determinadas plantas, individuales o mezcladas, de preferencia de rápido crecimiento, con el fin de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, esperando que proporcionen la abonadora mineral requerida por el cultivo comercial a ser plantado posteriormente.

Los abonos verdes o cultivos de cobertura son muy ventajosos principalmente en sistemas donde hay escasos usos de insumos externos, consiste en la agregación de una cantidad de masa vegetal que no esté descompuesta de plantas cultivadas con el fin de ayudar a mejorar las condiciones físicos, químicos y biológicos en el factor del suelo. Los cuales, gracias a su uso, pueden remediar varias limitaciones como es, su baja fertilidad del suelo, la alta infestación de maleza y por último la severa erosión del suelo y que benefician con resultados espectaculares que sirven de mucha ayuda a la recuperación del suelo (Castro *et al*., 2018).

2.9 Poaceae (Gramínea)

La familia Poaceae contiene alrededor de 700 géneros, así como 11000 especies, posee la mayor cantidad de especies de plantas vasculares. Se distribuye habitualmente sobre toda la superficie terrestre. Varios taxones y géneros de la Poaceae son dominantes ya que poseen una gran variedad ecosistémica, se pueden encontrar en entornos variados tales como sabanas, bosques tropicales, desiertos y semidesiertos, pampas, etc., particularmente no son abundantes en bosques, pero sí en ambientes abiertos como praderas y sabanas (Biganzoli y Zuloaga, 2015).

Según (Benito, 2016) las gramíneas están constituidas hojas, tallo y raíz, la mayoría de sus flores son monoicas. Las plantas se desarrollan y adoptan una forma distinta según las características del medio, para la supervivencia, pero reservando usualmente características

comunes propias de sus especies. Las gramíneas son aquellos productos tales como el centeno, la avena, el trigo, son algunas de las plantas de esta familia, conocida como poáceas.

2.9.1 Trigo amazónico

El trigo amazónico o igualmente conocido como lágrimas de san pedro, es una gramínea procedente o nativa de Asia tropical, llegan a medir entre 1-2 metros de alto, presenta tallo recto y sus raíces son aéreas ya habitualmente aparecen de nudos inferiores. Sus semillas pueden ser de color moradas, amarrillas y blancas. Se considera una gramínea monoica por que puede tener flores tanto masculinas o femeninas. Puede adaptarse muy fácilmente en tierras áridas y fértil lo que facilita su crecimiento sin ningún problema (Martinez, 2020).

2.9.2 Clasificación taxonómica del trigo amazónico

La clasificación taxonómica del trigo amazónico según (Porras, 2014), es la siguiente

Reino: Plantae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogoneae,

Género: Coix

Especie: C. lacryma-jobi

2.9.3 Morfología

2.9.3.1 Raíz

Posee una raíz fasciculada o raíz en, es decir, contiene numerosas ramificaciones, las cuales pueden llegar alcanzan en su mayoría una profundidad de 30 cm, con una longitud de 50 a 60 cm (Japón, 2013).

2.9.3.2 Tallo

Los tallos del trigo son sólidos, de 1,5 m a 2 m de alto o menos, con nudos enfocadas hacia la parte de arriba y sus varias hojas a lo largo.

2.9.3.3 Hojas

Hojas simples, glabrescentes, lineares, de limbo plano, anchas, de 1,5 a 4 cm de ancho, de 20-50 cm de largo, envainadoras- acorazonada en la base y con el ápice atenuado.

2.9.3.4 Flor

Es de tipo monoica en espiga, principalmente presenta un axilar, de 4 a 6 cm de largo o más, las flores femeninas agrupadas de a 3, las flores masculinas agrupadas de a 2, donde 2 de las cuáles son estériles.

2.9.3.5 Semilla

Los frutos son abrigados por una vaina cambiada de permanencia dura de forma globosa brillante y ósea que se vuelve de color café, gris, blanco, azulado o negro, de 8 a 12 mm de diámetro.

2.9.4 Potencial de producción y calidad nutricional del trigo amazónico

Esta especie de trigo puede comprender producciones de forraje de hasta 5 toneladas de materia seca por hectárea y año. Presenta un contenido de proteína cruda que oscila entre los 7 - 8.5% y una digestibilidad entre 45 – 65 % (Moreno, 2015).

2.10 Fabácea (Leguminosa)

Las leguminosas son un grupo de plantas que más se cultivan en la actualidad que pertenecen a la familia de las Fabaceae y sirven como medio de alimento, así mismo las leguminosas son utilizadas para la producción de abonos verdes o cultivos de cobertura debido a que poseen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el contenido de materia orgánica y nitrógeno de las plantas varía con la edad, en general se ha evaluado que, en las primeras fases de la etapa vegetativa, contiene un valor alto de nitrógeno en los tejidos y la mayor cantidad de nitrógeno total es acumulada al momento de la floración y este es el momento más oportuno de incorporar al suelo (Alfaro y Piril, 2018).

2.10.1 Frejol rojo

Es conocido como frejol poroto, es una de las especies leguminosa originaria en África cuyo cultivo en la actualidad se ha extendido en casi toda América, existen casi aproximadamente 20 variedades, son semillas comestibles que se caracterizan o diferencias por poseer un alto contenido en proteínas, fibras y minerales. La planta es de crecimiento arbustivo o también de enredadera, con tallos ramificados y hojas desiguales. Con relación al suelo, tolera mejor la acidez que la alcalinidad, es resistente a las sequias plagas y enfermedades. Hay distintos tipos que se cultivan a lo largo de la Amazonia en el caso de Shushufindi, se siembra el fréjol de color morado, en comunidades Shuar de Morona Santiago se cultiva un fréjol que es aplanado, anaranjado en forma de un riñón. Además, poseen otra variedad que se le reconoce como el fréjol de la sierra, es de color rojo y se da muy bien en la región amazónica ecuatoriana (Sharon, 2016).

2.10.2 Clasificación taxonómica del frejol rojo

El fréjol es una planta que fue clasificado como una especie llamado *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Linneo en 1753 (CIAT, 1985). Según (Valladares, 2010), la clasificación taxonómica del cultivo de fréjol es la siguiente:

Reino: Plantae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Tribu: Phaseoleae

Subtribu: Phaseolinae

Género: Phaseolus

Especie: Phaseolus vulgaris

2.10.3 Morfología

2.10.3.1 Hábitos de crecimiento

La especie de *Phaseolus Vulgaris* L, más conocido como poroto, este tipo de plantas presenta un hábito de crecimiento trepador de rápido crecimiento.

2.10.3.2 Raíz

El desarrollo del sistema radical está formado por la radícula del embrión, la cual que posteriormente pasa a integrar como la raíz principal o primaria y otras subdivisiones, el sistema radical tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos. La especie de *Phaseolus vulgaris* presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical de forma poliédrica con un diámetro aproximado de 2 a 5 milímetros. Las cuales estos pueden ser colonizados por bacteria del género Rhizobium, las cuales fijan nitrógeno atmosférico, que contribuye a satisfacer los requerimientos en la planta (Parada *et al.*, 2018).

2.10.3.3 Tallo

El tallo puede ser identificado como un eje central de la planta el cual está constituido por una sucesión de nudos y entrenudos. Es herbáceo y con una sección cilíndrica o levemente angular; puede ser erecto, semipostrado o postrado, según el hábito de crecimiento de la planta. El tallo tiene principalmente un diámetro mayor que las ramas y se surgen en el punto de inserción radicular (Hidalgo y Debouck, 1985).

2.10.3.4 Hojas

Las hojas de la planta *Phaseolus Vulgaris* L, son trifoliadas con foliolos triangulares, las hojas del poroto son identificados de dos tipos: simples y compuestas; las simples corresponden a las hojas primarias, de inserción opuesta; son enteras, unifoliadas, cordadas, ovaladas u orbiculares, acuminadas, con pecíolos glabros o ligeramente pubescentes. Las compuestas tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. El folíolo central o terminal es simétrico, acuminado y los dos laterales asimétricos acuminados, además muestran variaciones en cuanto al tamaño, color y pilosidad, esta variación está relacionada, con la variedad y las condiciones ambientales de luz y humedad (Parada *et al*., 2018).

2.10.3.5 Flor

La flor del frejol es una típica flor papilionácea, donde abarcan los órganos sexuales de la planta tanto como femeninas o masculinas llamados estambres(masculino) y pistilos (femenina) autofecundables. En los estambres se produce el polen que al caerse en los pistilos se producen lo que es la semilla. El cáliz es un tubo acampanado que se subdividen en 5 lóbulos, en donde dos de ellos se encuentra parcialmente unidos; formado de 5 pétalos desiguales. La flor del frejol no se abre mientras esta no ha sido polinizada, por lo que considera como una planta autógama. Básicamente las flores son de color blanco, crema y rosado (FAO, 2018).

2.10.3.6 Semilla

La semilla es la base fundamental de la unidad reproductora de las plantas. Es el producto que se consigue posteriormente de la floración y de otros fenómenos que se han su citado dentro de la flor. Su semilla es denominada exalbuminosa es decir que no tiene el albumen por lo que los abastecimientos nutritivos se aglomeran en los cotiledones, además contiene varios colores que lo diferencian, ya que es dependiendo de la variedad de las especies las cuales pueden ser rojas, negras, blancas, amarillas, etc. (Parada *et al*., 2018).

2.10.4 Composición química nutricional del frejol

La composición química nutricional del frejol rojo (*Phaseolus Vulgaris L*), no perjudica el contenido de proteína sino más bien favorece a la conservación de los nutrientes y minerales de la planta, la cual se encuentran detalladas en la tabla de resultados (García y Nallely, 2019).

2.11 Convolvulaceae

Son Familia integradas aproximadamente por unos 50 géneros y más de 1800 especies distribuidas entre las regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios. Conformadas de hierbas anuales o perennes, rastreros o volubles, subarbustos erguidos, raros árboles, frecuentemente con látex. Sus hojas son esparcidas, simples, sin estípulas, enteras, lobuladas, palmati o pinnatisectas, a menudo con la base cordada. Inflorescencias cimosas, pauci o plurifloras, raro solitarias, con brácteas y bractéolas de tamaño y forma variables. Es una familia que posee una producción promedio de 150 millones de toneladas. Las especies perteneciente a esta familia son denominados cultivo de fácil expansión y pocos requerimientos nutricionales por lo tanto su valor de producción son bajos (Orfila y Alfonzo, 2012).

2.11.1 Camote

Es un tubérculo nativo propias de América Latina, estas especies crecen a nivel o un poco más por encima de la superficie del suelo, se pueden llegar a cosechar en aproximadamente 4 meses, pues dado que es una planta de rápido crecimiento. Existen en una aproximación de 500 especies. Es considerada una fuente de carbohidratos para la alimentación ya ser humano o animal. La batata se puede acoplarse a suelos con diferentes características físicas, desarrollándose de la mejor manera en los arenosos, pero además pudiendo cultivarse en suelos arcillosos con tal de que la superficie esté bien granulada, estas plantas pertenecen a climas tropicales donde las temperaturas son altas y no soportan condiciones de bajas temperaturas. Contiene un alto valor nutricional rico en vitaminas y minerales; es importante señalar que los valores nutricionales pueden variar dependiendo del cultivar que se analice y el tipo de cocción utilizado. Su composición otorga varios beneficios a la salud, tales como, aportes nutricionales, propiedades cardioprotectoras, así como también se lo puede utilizar como abono orgánico (Vidal *et al.*, 2018).

2.11.2 Clasificación taxonómica del camote

La clasificación taxonómica del camote según (Huaman, 1992), es la siguiente:

Reino: Plantae

Orden: Solanales

Familia: Convulvulacea

Subfamilia: Faboideae

Tribu: Ipomoeae

Género: Ipomoea

Especie: Ipomoea Batatas

2.11.3 Morfología

2.11.3.1 Hábitos de crecimiento

La *Ipomoea Batata* es una planta considerada perenne que se esparce vegetativamente y se siembra como una planta anual, debido a que no posee un tiempo de madurez determinada, puede

cosecharse prosiguiendo períodos de cultivo de duración extensamente variable, además la planta del camote es conocido por lo general de hábito rastrero y con tallos que se ensanchan de manera horizontal sobre la superficie del suelo desarrollando un follaje relativamente bajo (Cusumano y Zamudio, 2013).

2.11.3.2 Tallo

Generalmente los tallos del camote son de longitud aproximado de (de 10 cm a 6 m), su estructura es de forma es cilíndrico (calibre de 4 mm a más de 6 mm). La cual puede ser de forma glabro (sin pelos) o pubescente (velloso). El color varía entre el morado, verde y el anaranjado.

2.11.3.3 Hojas

Sus hojas llegan a variar ampliamente en su forma y tamaño, constando de elípticas, ovales a lanceoladas, de entre los colores verde a moradas, de 5 cm a 12 cm de largo y ancho, membranosas, de glabras a pilosas, de lámina con márgenes enteros o dentados de ápice agudo, pecíolos rollizos y se reparten de manera en espiral en los tallos del camote (Ruiz *et al*., 2017).

2.11.3.4 Flores

Las flores se aglomeran de manera inflorescencia de la clase de remate bípara, conformando una raquis de hasta aproximadamente 20 cm, que se ubican en la axila de una hoja con promedio de 4 cm de radio por 5 cm de largo, conjuntamente incluido el pedúnculo floral; el cáliz tiene 5 sépalos separados y la corola 5 pétalos soldados, además cuenta con una figura embudiforme y de color violeta o blanca; por último el androceo lo componen 5 estambres y el gineceo un pistilo bicarpelar (Ruiz *et al*., 2017).

2.11.3.5 Fruto

Su fruto, se encuentra estructurado de una pequeña cápsula de forma circular de tamaño menor a un centímetro, en cuyo interior albergan de uno a cuatro pequeñas semillas circulares de color pardo a negro. Se estima que mil semillas pesan alrededor de 20 a 25 gramos.

2.11.3.6 Raíz

Las raíces de tubérculo radical se forman a partir de los nudos del tallo, pueden llegar a medir alrededor de 20 cm de diámetro y 30 cm de longitud y se encuentran cubierto bajo tierra. La raíz tuberosa es la parte comestible, cuya pulpa y su cascara son de diferentes colores, pudiendo

ser: amarilla, blanca, roja-morada, crema, con tensiones fuertes o débiles. La raíz tubérculo contiene una pulpa azucarada, perfumada y muy rica en almidón, además tiene una proporción apreciable de proteínas, vitamina C y un elevado contenido de carotenoides (Cobeña *et al*., 2017).

De acuerdo a (Paderes, 2014), en el estudio realizado sobre la caracterización morfológica a 368 accesiones de camote, se pudo observó que la formación y distribución de las raíces ocurre a lo largo de los tallos, en donde en la mayoría el 74% se encuentran de forma dispersa, racimo abierto el 23%, muy disperso 2% y por último el racimo cerrado 1%.

2.11.4 Contenido nutricional

El camote, abarca una importante fuente de, proteínas, calorías, vitaminas. Es importante señalar que no solamente el tubérculo de la planta del camote contribuye beneficios nutricionales; sino también las hojas de camote podrían instaurar una fuente alternativa de verduras de hoja verde; de acuerdo con la estipulación del índice de calidad nutricional, las hojas de camote son consideradas buenas fuentes de, fibra, proteína y minerales, especialmente Potasio, Fósforo, Calcio, Magnesio y Hierro (Vidal *et al*., 2018).

2.12 La biomasa

La biomasa se conceptualiza por contener una cantidad total de materia viviente, que se encuentra situado en un momento dado y un área determinada, donde se expresa en gramos de carbono como su unidad de medida, o en también puede ser dada en calorías por unidad de superficie, la biomasa es considerado de gran importancia debido a que es el escalón primario de la cadena trófica, es una de las propiedades más relevantes al momento de caracterizar el estado de un ecosistema. La biomasa además es considerada como una fuente suplementaria de proteína animal para animales terrestres e incluso para el hombre mismo en un futuro. Por otro lado, la biomasa está apretadamente conectada con los agroecosistemas más representativos o productivos ya que una de las plantas que más cantidad de biomasa produce son las gramíneas, leguminosas y convolvulaceae (Romero y Galán, 2014).

2.13 Fitorremediación

Es considerado como una alternativa para la recuperación de suelos contaminados, utilizando elementos biológicos que ayudan en la contribución de la oxidación, degradación, transformación y además la completa mineralización de estos contaminantes. La fitorremediación es conocida como una técnica biológica que permite sobrellevar a cabo la descontaminación de suelos contaminados o la depuración de aguas residuales, debido a que presenta una gran capacidad restauradora de algunas plantas vegetales. Esta técnica abarca un conjunto de métodos encomendados de degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar diversos contaminantes; mediante tratamientos in situ. De igual manera, la fitorremediación se fundamenta en los procesos que ocasionan naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan y retienen contaminantes orgánicos e inorgánicos. Las plantas también ayudan a frenar que la lluvia, el viento y las aguas subterráneas dispersen la contaminación a otras zonas (Velásquez, 2017).

A manera general se establece que existen seis tipos de fitorremediación, las cuales se dividen en dos grupos como son:

- Medios de contención: Rizofiltración, Fitoestabilización, Fitoinmovilización
- Medios de eliminación: Fitodegradación, Fitoextracción, Fitovolatización

2.13.1 Ventajas y desventajas de la fitorremediación

La fitorremediación, en sí muestra una lista de ventajas y desventajas a diferencia con otras tecnologías convencionales, las cuales se detallan en la siguiente tabla. La fitorremediación surge como una tecnología efectiva, económica y públicamente admitida para el proceso de remediación de distintos tipos de contaminación ambiental presentes.

Tabla 1-2: Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
1. Se puede ejecutar de manera ex situ e in situ. 2. Es una tecnología sostenible. 3. Es eficaz tanto para contaminantes inorgánico como orgánicos. 4. Al utilizar la fitorremediación de forma apropiada no tiene ningún efecto hostil dentro de la biota del lugar contaminado.	1. Una de las limitaciones es la escasa disponibilidad de especies vegetales. 2. No todas las especies son tolerantes o acumuladoras de contaminantes. 3. Intervalos extensos de tiempo para la degradación. 4. La implementación es de forma específica. 5. Este sistema de operación requiere lugares de grandes extensiones.

5. Es una técnica denominada de menor costo y más completa a diferencia de otras tecnologías convencionales (Agamez & Victoria, 2018) 6. No se necesita personal especializado para su manejo. 7. Evita la presencia de actividades de excavaciones. 8. Se puede desarrollar el reciclado de recursos como la (Biomasa, agua y metales). 9. Se lo puede ejecutar tanto para el suelo, agua, aire y sedimentos. 10. No necesita un sistema de consumo energética.	6. La fitorremediación empleada en el agua puede causar la diseminación de diversas plagas como por ejemplo los mosquitos o insectos. 7. Se implementa solo a ambientes que contengan bajas concentraciones de contaminantes.

Fuente: (Delgadillo *et al*, 2011) pág. 9. Copyright (2011), Tropical and Subtropical Agroecosystems.

2.13.2 Tipos de fitorremediación

2.13.2.1 *Fitoestabilización*

Es un método que consiste en inmovilizar los contaminantes que se encuentra en el suelo por medio de la absorción y la acumulación en las raíces de las plantas, por lo que se considera seleccionar especies vegetales que almacenen mínimos contaminantes, ya que acorde va creciendo la planta y desarrollando estabilizan el suelo, disminuyendo la movilidad de contaminantes impidiendo que migren a otros medios como el aire o agua, de manera que este tipo de fitorremediación se emplea en amplios extensiones de suelo, donde se consigue evidenciar una contaminación superficial (Perdomo, 2020).

2.13.2.2 Fitoinmovilización

Este método ayuda a promover la reducción de la biodisponibilidad de las sustancias de contaminantes mediante la reproducción de compuestos químicos en la interfaz entre la raíz y el suelo, los que deshabilitan las substancias tóxicas, ya sea por medio de los procesos de adsorción, absorción o precipitación (Carpena y Bernal, 2007).

2.13.2.3 Rizofiltración

Es el método por el cual se fundamenta en desarrollar cultivos hidropónicos con una alta o mayor tasa de crecimiento y área superficial, ya que además la eliminación de sustancias contaminantes es por el contorno del sistema radicular, donde las raíces acumulan y absorben los metales pesados de aguas contaminadas.

2.13.2.4 Fitoextracción

El método fitoextracción o también señalado como fitoacumulación, es la que lleva consigo la absorción de contaminantes de metales pesados como es el Cadmio, Cobre, Níquel, Cinc y Plomo por la raíz y su posterior acumulación en las partes de tallos y hojas, a su vez se puede también utilizar para captar otros elementos como es el Selenio, Arsénico y compuestos orgánicos. La ventaja de la fitoextracción es que el proceso se consigue repetir de forma ilimitada hasta que logre alcanzar una concentración de contaminante en el medio admisible dentro de los límites requeridos (Delgadillo *et al*, 2011).

2.13.2.5 Fitodegradación

Este método se fundamenta en la utilización de especies vegetales con el fin de degradar o transformar en sustancias de menor toxicidad o inofensivas, que pueden ser de diferentes tipos de contaminantes orgánicos como son plaguicidas, hidrocarburos u otros compuestos clorados que llevan a cabo los microorganismos rizosféricos por medio de reacciones enzimáticas, es decir donde las raíces de las plantas se asocian con el suelo, donde al final son transformados y luego captados en sus vacuolas o fijados en las estructuras celulares insolubles como es el caso de la lignina (Núñez *et al*., 2004).

2.13.2.6 Fitovolatización

Este método de Fitovolatización se encamina en volatilizar contaminantes como mercurio y selenio que se encuentran expuestas en el agua y el suelo por lo que estas sustancias contaminantes primeramente son absorbidos, metabolizados y transportados desde la parte de la raíz hacia la parte superior de la planta para su siguiente liberación a la atmósfera de forma más volátil y relativamente menos peligroso (Delgadillo *et al*, 2011).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

El área de estudió investigativo se encuentra ubicada en la cabecera Parroquial de Puerto Murialdo al este de la Provincia de Orellana y Cantón Loreto, según el sistema de referencia geográfica WGS 84 proyección UTM la parroquia está situada en la zona 18 sur, coordenadas 262398 m. E y 9923493 m. N. El cual cuenta con 3375 habitantes en la parroquia según el estudio estadístico del PDOT y tiene una superficie total de 191.37 Km2, donde la mayor parte poblacional consume agua de los ríos, vertientes o esteros y se dedican a labores de campo como la agricultura individual extensiva, el lugar además está rodeado de muchas empresas petroleras a su alrededor (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Murialdo- PDOTM, 2019).

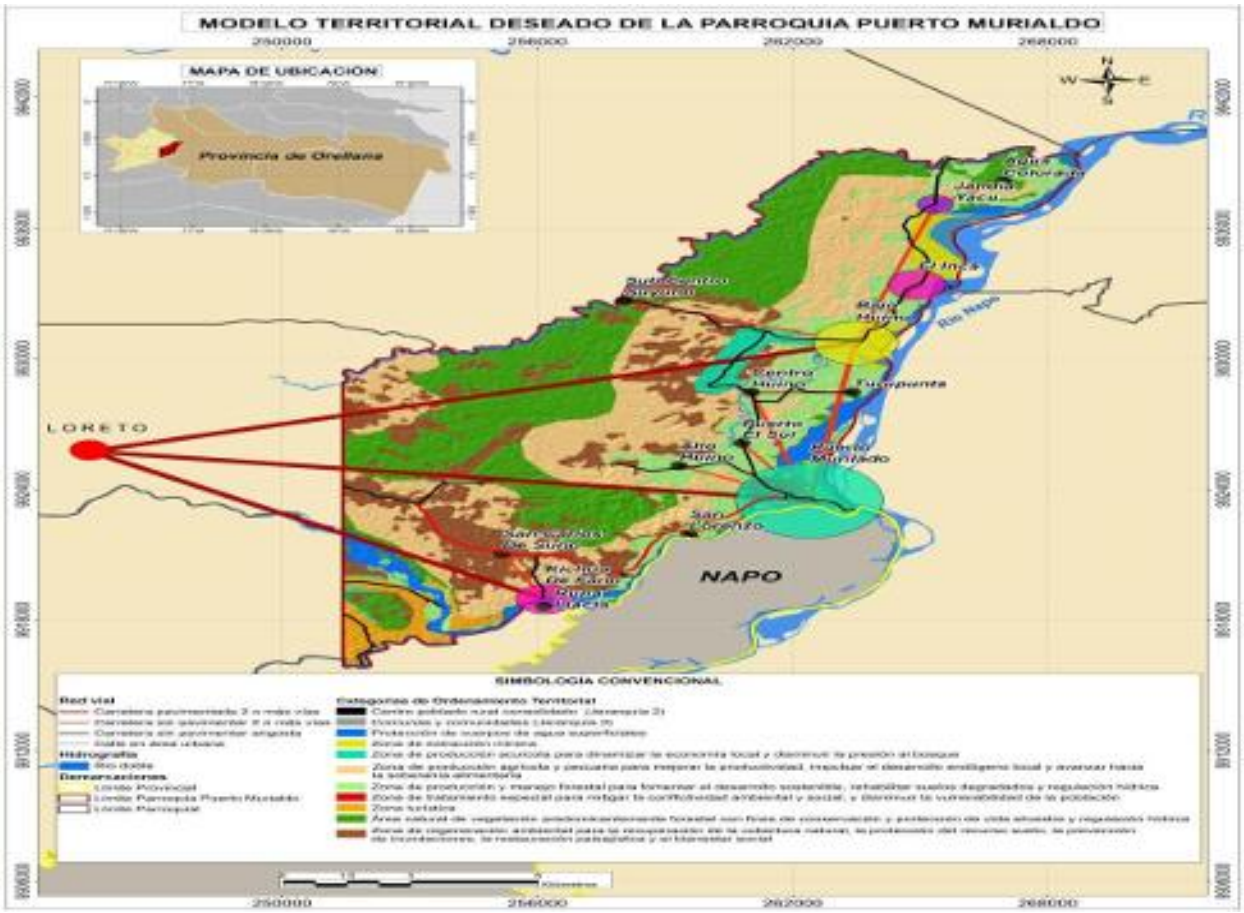


Figura 1-3. Mapa del modelo territorial deseado, adaptado del plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2019

Fuente: (GADP-PM, 2015, pág. 166)

3.2 Tipo o diseño de investigación

Para el desarrollo de esta investigación que está enfocada a la línea de investigación de Gestión y Conservación Ambiental, se buscó proponer una alternativa de fitorremediación por el método de fitoextracción ya que son considerados factibles en el proceso de recuperación de suelos contaminados, desarrollando un análisis de los tres tipos de cultivos de cobertura, observando el comportamiento, el rendimiento y la calidad de la biomasa.

La investigación es, no experimental descriptiva analítica, porque permite observar los fenómenos y acontecimientos ya existentes con el fin de luego analizarlas los sucesos, variables, características, conceptos y muchas otras situaciones para resolver el problema, en donde no permite la intervención directa del investigador (Ayala, 2021).

Por medio de la investigación descriptiva se da a conocer la morfología de las tres especies vegetales extractoras consideradas como cultivo de cobertura, que es empleado en la recuperación de suelos contaminados, así mismo se puede identificar qué tipos de contaminantes de suelo son capaces de recuperar cada una de las siguientes especies y el tipo de técnica que se va a aplicar para el uso eficiente del proceso (Mejia, 2021).

La investigación analítica implica en la adquisición conocimiento o soluciones a esta problemática de carácter científico, mediante recopilación de datos que se tiene como objeto de estudio, pensamiento crítico, donde nos ayuda a reconocer el tipo de especie vegetal con mayor porcentaje de nutrientes y la efectividad que poseen cada uno de ellos en el proceso de recuperación de suelos contaminados como medio alternativo (Raffino, 2020).

3.3 Métodos de investigación

Para que el proyecto de investigación tenga relevancia se aplicaron métodos que delimitaran la metodología en dependencia del caso de estudio a realizarse.

Recopilación de información: Por medio de la investigación bibliográfica se realizará la recopilación de documentos como artículos científicos, ensayos, tesis y revistas científicas que hayan sido certificadas, a partir del año 2015 al 2020, donde se tomó en cuenta parámetros como la cantidad de biomasa de producción de abonos verdes, las especies vegetables endémicas de la amazonia aplicadas. Además, también nos permite reconocer los componentes o factores necesarios para indagar una conclusión de la utilización de especies vegetales endémicos que son óptimas para la recuperación de suelos contaminados.

Sistematización de datos: Una vez obtenidos los datos necesarios que se recolectaron de las especies como cultivo de cobertura que se ocuparán para el proceso de recuperación de suelos contaminados, en dependencia de su componente se la clasificarán desde la más eficiente hasta el menos dependiendo de la fertilidad del suelo.

Para alcanzar todos los objetivos, se tomará en cuenta las características esenciales de suelos degradados por la contaminación y las propiedades nutritivas de minerales de las especies, que fue propuesto como alternativa el método de fitoextracción para la recuperación de suelos por medio de especies vegetales como el trigo amazónico, frejol rojo y el camote, denominados abonos verdes o cultivos de cobertura, que son óptimos para fertilizar el suelo.

Para alcanzar el objetivo 1, se realizó una revisión bibliográfica de los documentos obtenidos de diferentes páginas, donde se pudo analizar los diferentes aspectos como son las características de las especies vegetales y así mismo se identificó las propiedades nutricionales de minerales que necesitan las especies de cultivos de cobertura y sus excedentes de concentración que podrían causar daños a la salud humana en la parroquia de Puerto Murialdo.

Para cumplir con el objetivo 2, se realizó una investigación en artículos, tesis y otros proyectos experimentales, sobre las experiencias aplicadas en el procesos de fitorremediación con las familias de las especies de trigo amazónico, frejol rojo y el camote ya que estas especies no son tan estudiadas actualmente y carecen de información, por tal motivo se investigó sobre otras especies de la mismas familia, que aptos son para la descontaminación de suelos y así se pudo

reconocer que estas familias son la base fundamental en el proceso de la fitorremediación por el método fitoextracción. Por motivo de que se ha observado de que dichas plantas, crecen en abundancia sobre áreas o lugares de gran presencia de contaminantes, además por lo que contienen gran capacidad en propiedades de absorción tanto a nivel de raíces y como de biomasa, con el fin de llegar a obtener o determinar en un futuro valores que nos permitan dar a conocer el porcentaje de remoción tanto de metales pesados y de hidrocarburos de dichas especies, debido a que no hay estudios que brinden valores de porcentajes de remoción de contaminantes específicos que absorben las plantas.

El objetivo 3, se ejecutó mediante una revisión bibliográfica de proyectos que hayan sido experimentadas en suelos contaminados, donde se realizó una propuesta como medio de alternativa para la recuperación de suelos contaminados por el proceso de fitorremediación utilizando el método de fitoextracción, ya que este método es una tecnología que se fundamenta en el uso de las plantas para reducir la concentración de contaminantes. Se realizó una propuesta de diseño completamente aleatorizado (DCA) con 4 tratamientos (T1: *Coix lacryma jobi*, T2: *Phaseolus vulgaris*, T3: *Ipomoea batatas* y T4: *Coix lacryma jobi + Phaseolus vulgaris + Ipomoea batatas*) y 4 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 16 unidades experimentales, para cada unidad experimental se utilizarán 24 plantas de estudio de cada especie en un área de 5000 m2.

Para la recuperación de suelos degradados por la contaminación, una vez obtenida la información concreta sobre su efectividad e importancia que tengan estas especies como cultivos de cobertura, se podría proporcionar una cartelera para ubicar en la parroquia Puerto Murialdo indicando los beneficios y ventajas que tienen las especies vegetales y así mismo optando con la información de este proyecto para que tengan los conocimientos necesarios y que puedan implementar en sus suelos degradados por la contaminación y así ayudaría al componente social y ambiental.

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Características y propiedades nutricionales de minerales de cultivos de cobertura

4.1.1 Caracterización de las especies utilizadas

Mediante una búsqueda de información bibliográfica en distintas páginas como artículos científicos, revista científica, tesis y otros proyectos experimentales, se pudo recolectar información sobre las plantas de tipos de cobertura que son de interés de este proyecto, tomando en cuenta su adaptabilidad y su desarrollo dentro de la amazonia ecuatoriana, de acuerdo a las características de las especies vegetales y su gran potencial para recuperar los suelos contaminados, según los autores mencionan que los cultivos de cobertura como el trigo (Shtangeeva, 2020), frejol (Pérez *et al*., 2010); (Trujillo y Ramírez, 2012); (Alarcón, 2013) y el camote , (Montes, 2014); (Reyes, 2019) son especies consideradas que se pueden utilizar para el proceso de fitorremediación, debido a su gran potencial de biomasa y por extensas raíces que pueden llegar a extraer contaminantes, los mismo se encuentran puntualizados en las siguientes tablas.

Tabla 2-4: Especie vegetal trigo amazónico

Coix lacryma jobi (Martinez, 2020)


Figura 2-4. Fotografía de la especie trigo amazónico

Tomado de "Pastos y forrajes: *Coix lacryma*," por el proyecto de "Análisis de tres tipos de cultivos de cobertura para la recuperación de suelos contaminados en la parroquia Puerto Murialdo, Provincia Orellana – Ecuador". Recuperado de https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/ficha-tecnica-del-trigo-amazonico-coix-lacryma-jobi/

Parámetros	Resultado		Fuente
Taxonomía	**Sistema de la planta**	*Terrestre*	(Martinez, 2020)
	Reino	*Plantae*	
	Orden	*Poales*	
	Familia	*Poaceae*	
	Subfamilia	*Panicoideae*	
	Tribu	*Andropogoneae*	
	Género	*Coix*	
	Especie	*C. lacryma jobi*	
Descripción de la planta	La *Coix lacryma* es originaria de Asia tropical, se la caracteriza por llegar a medir uno o dos metros, sus raíces son aéreas ya que nacen de los nudos inferiores y son muy resistentes a plagas. La coloración de las semillas va de moradas, amarillas, blancas a pardas. Se considera una gramínea monoica ya que posee flores masculinas y femeninas individuales.		(Martinez, 2020)
Condiciones de habitad	Para un óptimo desarrollo de la planta de debe tener un clima entre 18°-28°, además tolera sombras y precipitaciones anuales entre 1.000-4.500 milímetros.		(Martinez, 2020)
Fenología	Brotación	5-8 días	(Germán *et al*, 2018)
	Fase Vegetativa	1-2 meses	
	Floración	3 meses	
	Cosecha	4-5 meses	
Reproducción	La reproducción de esta planta es monoica ya que posee flores masculinas y femeninas en la misma planta y su polinización es regularmente por el viento.		(Pérez, 2015)
Luminosidad	Necesita una captación de luz solar de 8 horas al día, durante el ciclo de cultivo.		(Basantes, 2015)
Fase de adaptación	Se puede adaptar muy bien en suelos fértiles lo que facilita su desarrollo con mayor rapidez, crece sin problemas en suelo con un pH de 4.5 -8.4, además tolera sombras y resistentes a las sequias.		(Martinez, 2020)
Requerimiento de la planta	Fertilización mínima N: 50, P2O5: 45,8, K2O: 18, MgO: 24, 75, SO4: 44,86. Las plantas responden bien a las aplicaciones liberales de abono orgánico.		(Martinez, 2020)
Propiedades nutricionales	Calcio, fósforo, hierro, cobre, cinc, magnesio, etc.		(Wrigley *et al*., 2004)

Tabla 3-4: Especie vegetal del frejol rojo

Phaseolus vulgaris L (Simone *et al*, 2002)**.**			
			
Figura 3-4. Fotografía de la especie frejol rojo Tomado de "Sistema nacional de vigilancia y monitoreo de plagas: *Phaseolus vulgaris L."* por el proyecto de "Análisis de tres tipos de cultivos de cobertura para la recuperación de suelos contaminados en la parroquia Puerto Murialdo, Provincia Orellana – Ecuador". Recuperado de https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/phaseolus-vulgaris			
Parámetros	**Resultado**		**Fuente**
Taxonomía	**Sistema de la planta**	*Terrestre*	(Valladares, 2010)
	Reino	*Plantae*	
	Orden	*Fabales*	
	Familia	*Fabaceae*	
	Subfamilia	*Faboideae*	
	Tribu	*Phaseoleae*	
	Género	*Phaseolus*	
	Especie	*Phaseolus Vulgaris L.*	
Descripción de la planta	Es una de las especies leguminosa originaria en África cuyo cultivo se ha extendido en casi toda América, existen casi 20 variedades, son semillas comestibles que se caracterizan por tener un alto contenido en proteínas, fibras y minerales. La planta es de crecimiento arbustivo o también de enredadera, con tallos ramificados y hojas desiguales.		(Sharon, 2016)
Condiciones de habitad	Las temperaturas óptimas para el desarrollo de leguminosas de grano fluctúan entre 18º C y 27º C. ya que posee una la amplia adaptabilidad que facilitan la producción durante todo el año.		(Simone *et al*, 2002)
Fenología	Brotación	5-8 días	(Norman, 2019)
	Fase Vegetativa	20 días	
	Floración	36-39 días	

	Cosecha	90-100 días	
Reproducción	Sus flores son hermafroditas, esto es, cada una tiene órganos sexuales masculinos (estambres) y femeninos (ovario); la polinización se debe generalmente a las abejas.		(Parada *et al.*, 2018)
Luminosidad	El fotoperiodo óptimo para la inducción de la floración es de 8 a 14 horas ya que la reducción de luz propiciaría su desarrollo rastrero.		
Fase de adaptación	Posee una amplia adaptación en zonas de tierra firme, y se cultiva en las selvas altas y bajas de toda la región amazónica y a una gran variedad de suelos. El frijol tolera pH hasta de 4.5 a 8.2, ya que debajo de ese límite presenta generalmente síntomas de toxicidad.		
Requerimiento de la planta	Fertilización mínima N: 14, P2O5: 12, CaO: 10, K2O: 3, MgO: 0.8, S: 1.5. Las plantas responden bien a las aplicaciones liberales de abono orgánico		(AGRORURAL, 2018)
Eficiencia de remoción	La eficiencia de remoción del metal pesado cinc es de 58.97%, plomo del 9.43%, cadmio 10.94%, cobre 7.79%, níquel 12.86%.		(Alarcón, 2013)
Propiedades nutricionales	Calcio, fósforo, hierro, cobre, cinc, magnesio, sodio, potasio, etc.		(Serrano y Goñi, 2004)

Tabla 4-4: Especie vegetal del camote

Ipomoea batatas (Larmack, 1793)			
			
Figura 4-4. Fotografía de la especie del camote Tomado de "Ecosostenible: *Ipomoea batatas*," por el proyecto de "Análisis de tres tipos de cultivos de cobertura para la recuperación de suelos contaminados en la parroquia Puerto Murialdo, Provincia Orellana – Ecuador". Recuperado de http://antropocene.it/es/2018/11/18/ipomoea-batatas/			
PARÁMETROS	**RESULTADO**		**FUENTE**
TAXONOMÍA	**Sistema de la planta**	*Terrestre*	(Huaman, 1992)
	Reino	*Plantae*	
	Orden	*Solanales*	

	Familia	*Convulvulaceae*	
	Subfamilia	*Faboideae*	
	Tribu	*Ipomoeeae*	
	Género	*Ipomoea*	
	Especie	*Ipomoea Batatas*	
Descripción de la planta	El camote se caracteriza como una especie herbácea perenne y posee hojas alternas palmeadas o lobuladas. La epidermis del tubérculo tiene un color que distingue de marrón a blanco, de rojo a púrpura según la variedad, posee un tamaño aproximadamente de 20 cm de diámetro y 30 cm de longitud, que requiere altas temperaturas de al menos 15 ° C para la germinación y no inferior a 20 ° C durante todo el ciclo de su desarrollo.		(Bissanti, 2018)
Condiciones de hábitat	El camote es una planta que se cultiva desde el inicio del nivel del mar hasta inclusive los 3000 msnm, pero en plantaciones comerciales los mejores rendimientos se dan entre los 0 y 900 msnm. Se familiariza a suelo con diferentes características físicas, pero prefiere aquellos suelos que presenten buen drenaje, buena aireación, que sean livianos y con alto contenido de materia orgánica de tipo franco arenosos hasta franco arcillosos.		(Cobeña *et al*., 2017)
Fenología	**Brotación**	8-10 días	
	Fase vegetativa	65 días	
	Floración	73 días	
	Cosecha	120 días	
Reproducción	El camote es una especie que se reproduce de manera vegetativo y asexual ya que su brotación es rápida entre los 8 a 10 días.		
Luminosidad	La existencia de una buena luminosidad beneficia los procesos de la fotosíntesis y de la transpiración, necesitando de 8 a 11 horas diarias de sol.		(Pinto, 2012)
Fase de adaptación	La *Ipomoea Batatas* es una de las plantas que tolera los suelos moderadamente ácidos y su adaptabilidad varía entre 4,5 a 7,7 de pH.		(Cobeña *et al*., 2017)
Requerimiento de la planta	Fertilización mínima N: 14, P2O5: 12, CaO: 10, K2O: 2, MgO: 0.8, S: 1.5. Las plantas responden bien a las aplicaciones liberales de abono orgánico.		(AGRORURAL, 2018)
Eficiencia de remoción	La eficiencia de remoción de contaminante cromo es del 17%. y el plomo del 53.16%.		(Montes, 2014) (Reyes, 2019)
Propiedades nutricionales	Sodio, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, cinc, selenio, cobre, manganeso, etc.		(Vidal *et al*., 2018)

4.1.2 Propiedades nutricionales de minerales de especies utilizadas

Mediante una búsqueda de información en diferentes sitios, se obtuvo los siguientes datos de contenidos nutricionales de minerales de las siguientes especies vegetales como son el trigo amazónico, el frejol rojo y el camote. Aunque existen otros minerales presentes en estas especies; solo se escogió estos debido a que son de mayor relevancia en relación a nuestro tema de investigación ya que estas especies ayudan a la bioacumulación de contaminantes en sus tejidos, por lo que se considera que en grandes cantidades de elementos perjudican a la salud de las personas, por ende debe ser removido luego de su aplicación al proceso de fitoextracción, además estas especies seleccionadas son denominadas plantas hiperacumuladores de contaminantes de metales pesados y hidrocarburos. De tal manera en las siguientes tablas podemos observar los valores nutricionales que requieren las plantas para su desarrollo, al igual los límites de tolerancias de los humanos a estos elementos, como se detalla en las siguientes tablas 5-4, tabla 6-4 y tabla 7-4.

Tabla 5-4: Contenido nutricional de minerales del trigo amazónico

CONTENIDO	CANTIDAD	UNIDADES/100 g	RANGO NOCIVOS PARA LOS HUMANOS mg/día	FUENTE
Calcio	49	mg	200 - 1300	(NIH, 2019)
Fósforo	299	mg	3000 - 4000	(NIH, 2019)
Hierro	2.90	mg	0.27 - 27	(NIH, 2019)
Cobre	0.77	mg	200 - 1300	(García *et al*., 2013)
Zinc	1.89	mg	4 – 40	(NIH, 2019)
Magnesio	1.89	mg	30 - 410	(NIH, 2019)

Fuente: (Wrigley *et al*., 2004)

Tabla 6-4: Contenido nutricional de minerales del frejol rojo

CONTENIDO	CANTIDAD	UNIDADES/100 g	RANGO NOCIVOS PARA LOS HUMANOS mg/día	FUENTE
Calcio	92.3	mg	200 - 1300	(NIH, 2019)
Fósforo	380.3	mg	3000 - 4000	(NIH, 2019)
Hierro	4.82	mg	0.27 - 27	(NIH, 2019)

Cobre	0.77	mg	200 - 1300	(García *et al*., 2013)
Zinc	3.96	mg	4 – 40	(NIH, 2019)
Magnesio	195.6	mg	30 - 410	(NIH, 2019)
Sodio	5.2	mg	110 - 1500	(Vazquez, 2018)
Potasio	1424.3	mg	400 - 3400	(NIH, 2019)

Fuente: (Serrano y Goñi, 2004)

Tabla 7-4: Contenido nutricional de minerales del camote

CONTENIDO	CANTIDAD	UNIDAD /100 g	RANGO NOCIVOS PARA LOS HUMANOS mg/día	FUENTE
Sodio	19 – 55	mg	110 - 1500	(Vazquez, 2018)
Potasio	200 – 385	mg	400 - 3400	(NIH, 2019)
Fosforo	47 – 55	mg	3000 - 4000	(NIH, 2019)
Calcio	7 – 34	mg	200 - 1300	(NIH, 2019)
Magnesio	18 – 25	mg	30 - 410	(NIH, 2019)
Hierro	0.61 – 1	mg	0.27 - 27	(NIH, 2019)
Zinc	0.30 – 0.39	mg	4 – 40	(NIH, 2019)
Selenio	0.6 – 1	mg	15 -70	(García *et al*., 2013)
Cobre	0.151	mg	200 - 1300	(García *et al*., 2013)
Manganeso	0.258	mg	0.003 -2.6	(NIH, 2019)

Fuente: (Vidal *et al.*, 2018)

En las tablas anteriores del (5-7) se puede observar que los valores nutricionales obtenidos, son extraídos de plantas naturales que no fueron expuestos a suelos contaminados, ya que existe escasa información sobre estudios realizados específicamente con especies amazónicas seleccionadas, pero en relación a nuestro proyecto final existe una similitud con estudios de trabajos anteriormente realizados con otras especies, de las mismas familias. Por tal motivo se llegó a plantear una propuesta que ayude a obtener en un futuro más información realizando los respectivos análisis de laboratorio y así poder obtener datos más exactos luego de haber implementado en suelos contaminados.

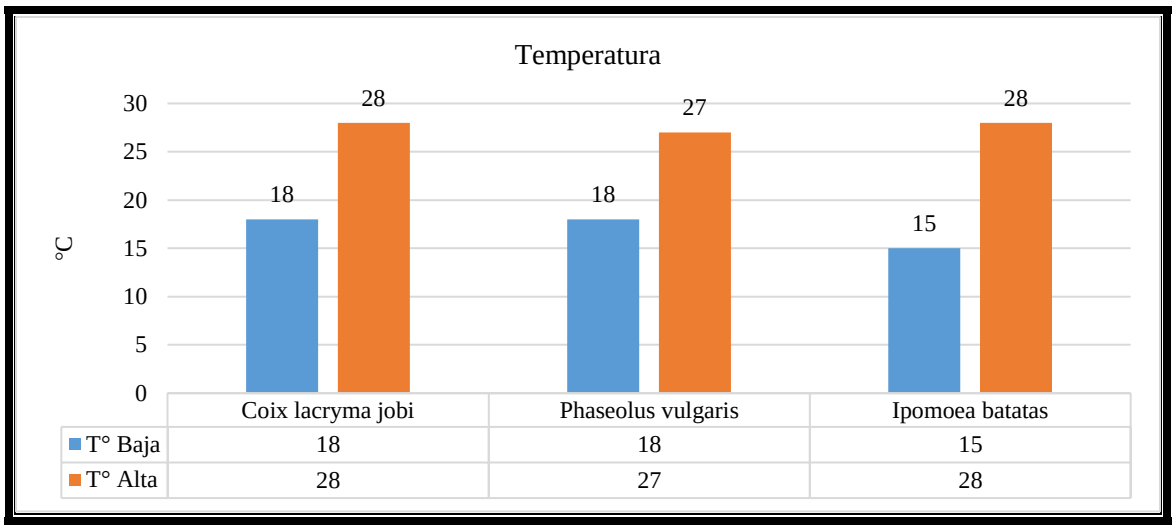


Figura 5-4. Temperatura de las plantas para su adaptabilidad

Fuente: (Martinez, 2020)**;** (Simone *et al*, 2002)**;** (Bissanti, 2018)

Las plantas extractoras de contaminantes tiene una temperatura promedio de 23°C por lo que se considera que se pueden adaptar y desarrollar con facilidad en el ecosistema de la amazonia ecuatoriana, la planta de *Ipomoea batatas* es una de las especies que se puede adaptar a temperaturas que van desde 15 °C a 28 °C por lo que se considera que es una planta que mejor se adapta a un ecosistema.

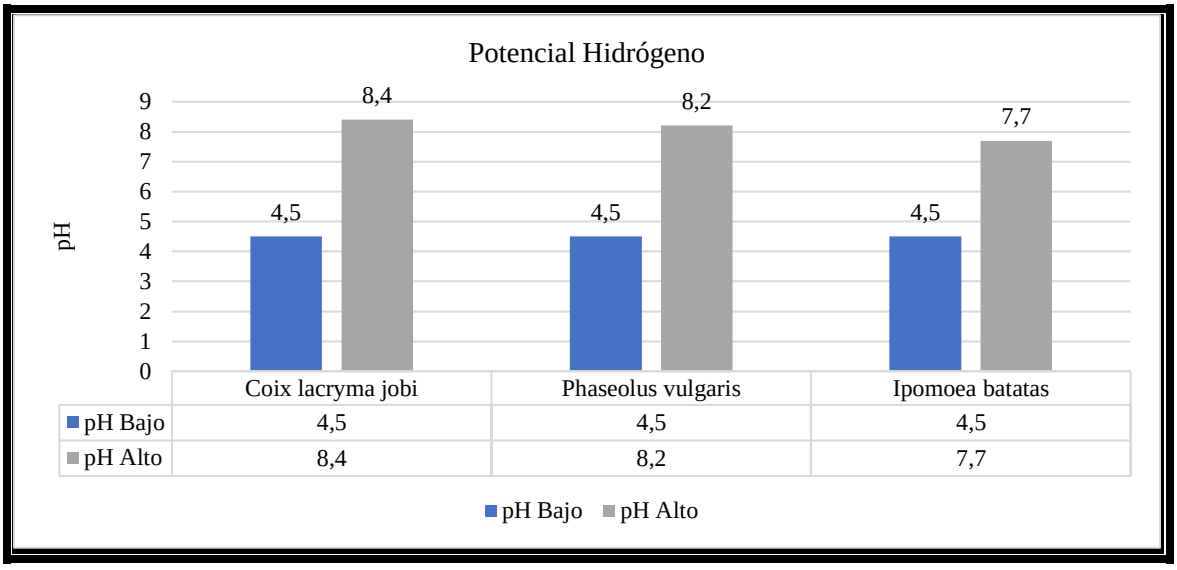


Figura 6-4. Adaptabilidad mediante el pH del suelo

Fuente: (Martinez, 2020); (Parada *et al.*, 2018); (Cobeña *et al*., 2017)

Todas las plantas pueden desarrollarse en un pH neutro consiguiendo alcanzar un desarrollo optimo, pero la especie de *Ipomoea batatas* tiene una capacidad de pH acido de 4.5 hasta un Ph 7.7 por lo que se considera que es una especie de alto rango de adaptabilidad, *Coix lacryma jobi* tiene un rango de pH de 4.5 a 8.4 por lo que considerado una especie de pH alcalino.

4.2 Experiencias de fitorremediación con familias Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae

A través de revisiones bibliográficas y recopilación de información en muchos estudios implementados en el proceso de fitorremediación, pudimos concluir que cada una de las técnicas estudiadas contienen ciertos porcentajes de efectividad de remoción de contaminantes teniendo en cuenta el área en donde vaya a hacer implementada. Además, se determinó que las familias seleccionadas como es el Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae se encuentran dentro de las familias más utilizadas en el proceso de fitorremediación, debido a que las especies que pertenecen a estas familias son plantas hiperacumuladores que son capaces de almacenar contaminantes. Después de haber analizado específicamente cada uno de sus factores de adecuación y características, se determinó que la fitoextracción es una de las técnicas que mejores resultados se puede obtener al momento de tratar suelos contaminados, las cuales luego de haber cumplido la fase de absorción dichos cultivos de cobertura se deberían cortar y llevarlos a un lugar determinado para su posterior tratamiento en relación al exceso de metales pesados y hidrocarburos, por ende no es apto para el consumo humano y animales, por tanto es indispensable la señalización y la identificación del área a realizar la fitorremediación. Entre las seleccionadas para nuestro caso de estudio fue el trigo amazónico (*Coix lacryma jobi*) de la familia Poaceae, frejol rojo (*Phaseolus vulgaris*) de la familia Fabaceae y el camote (*Ipomoea batatas*) de la familia Convolvulaceae.

Según los resultados obtenidos de la investigación sobre el trigo amazónico (*Coix lacryma jobi*) de la especie amazónica, se llegó a analizar que esta especie a pesar de no ser tan estudiada y carece de información cuantitativa, tiene una gran cualidad como un potencial acumulador de contaminantes porque; su biomasa es extensa, sus raíces son largas y ramificadas, lo que permiten absorber y acumular diferentes contaminantes, además esta especie puede tolerar suelos con pH muy acido, ya que hoy en la actualidad se ha podido observar en la parroquia de Puerto Murialdo a esta especie en lugares como; pozos abandonados por actividades petroleras, zonas de derrames de combustibles fósiles, suelos deteriorados por sustancias agroquímicas, actividades de minería (material pétreo), en las orillas de desembocaduras de aguas residuales no tratadas, esto fue posible

mediante la ayuda proporcionada por el PDOT del (GADP-PM, 2015), dando lugar a sitios que fueron intervenidas por actividades anteriormente mencionadas, por lo que nos ha llamado la curiosidad del por qué, esta especie puede sobrevivir a tanta contaminación, por tal motivo se realizó la investigación, ya que hay escasos de estudios implementados en relación al proceso de fitorremediación, pero presentan estudios relacionados con la misma familia, reino, división, clase y orden, donde solo se diferencian en el tipo de género y especie, como es el caso de *Triticum vulgare*, estudiada por bióloga (Alarcón, 2013) en la ciudad de México, donde determina muchos metales pesados al final de su estudio como podemos observar en la tabla 8-4 y figura 7-4. Así mismo la investigadora (Shtangeeva, 2020) determinó que el trigo es capaz de absorber varios elementos químicos del suelo contaminado y recalco que el trigo es uno de los candidatos factibles para la fitorremediación. Debido a que *Coix lacryma jobi* no es tan estudiada, es necesario plantear una propuesta, con la finalidad de llegar a obtener datos cuantitativos mediante la aplicación de fitorremediación por el método fitoextracción.

Tabla 8-4: Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo

INDIVIDUOS		**METALES PESADOS**				
ESPECIE	**TEJIDO**	**Zn**	**Cu**	**Ni**	**Pb**	**Cd**
Triticum vulgare	ESPIGA (E)	194.20*	11.57*	45.06*	72.67*	21.93*
	HOJA (H)	302.10*	16.47*	45.30*	86.00*	33.97*
	TALLO (T)	217.53*	9.54*	56.42*	107.50*	25.96*
	RAÍZ (R)	1270.32*	311.67*	263.67*	503.33*	305.50*
	CONCENTRACIÓN TOTAL	**1984.15**	**349.24**	**410.45**	**769.50**	**387.36**

Fuente: (Alarcón, 2013) (Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo. En evaluación del potencial fitorremediador de Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annus para metales pesados) (p. 34), por A. Estrella, 2013, México, D.F.

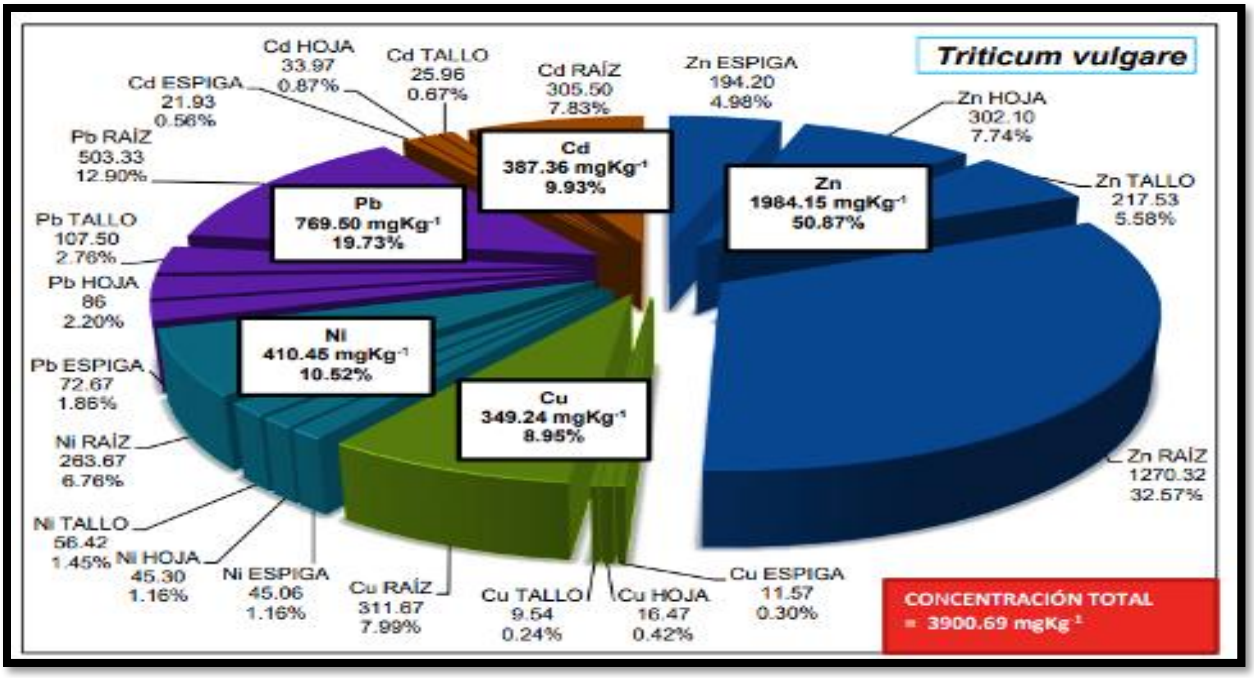


Figura 7-4. Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo. En evaluación del potencial fitorremediador de Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annus para metales pesados (p. 35), por A. Estrella, 2013, México, D.F.
Fuente: (Alarcón, 2013)

Según los resultados obtenidos de la investigación sobre el frejol rojo (*Phaseolus vulgaris*) se llegó a analizar que esta especie si es estudiada a nivel nacional e internacional y hay casos de estudios que han utilizado esta especie para la recuperación de suelos contaminados por fitorremediación por autores como; (Alarcón, 2013); (Trujillo y Ramírez, 2012); (Pérez *et al*., 2010), por ende, hay datos cuantitativos y nos dan a conocer lo importante de estas especies en el ámbito de remover los contaminantes como podemos ver en las tablas 9-4, 10-4 y figura 8-4, en sus estudios mencionan que *Phaseolus vulgaris* es una especie utilizada para tratamientos inorgánicos e orgánicos hoy en la actualidad, ya que han sido probadas con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos. Por tal motivo se recomienda a la población tener muy en cuenta el origen de donde se extrajo este producto ya que esta especie tiene mucha demanda en el consumo del hombre y puede perjudicar en la salud y contraer muchas enfermedades. Pero de igual manera se planteó una propuesta de fitorremediación con esta especie en el suelo contaminado de la parroquia Puerto Murialdo con la finalidad de estudiar más contaminantes que puede extraer esta especie ya que hay más estudios realizados para metales pesado que para hidrocarburos.

Tabla 9-4: Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el frejol

INDIVIDUOS		METALES PESADOS				
ESPECIE	**TEJIDO**	**Zn**	**Cu**	**Ni**	**Pb**	**Cd**
Phaseolus vulgaris	HOJA (H)	176.79*	30.43*	125.50*	124.00*	49.87*
	TALLO (T)	305.06*	1.00	84.63*	84.00*	29.43*
	RAÍZ (R)	2345.10*	342.17*	406.42*	244.17*	445.00*
	CONCENTRACIÓN TOTAL	**2826.97**	**373.60**	**616.55**	**452.17**	**524.30**

Fuente: (Alarcón, 2013) (Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el frejol. En evaluación del potencial fitorremediador de Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annus para metales pesados) (p. 34), por A. Estrella, 2013, México, D.F.

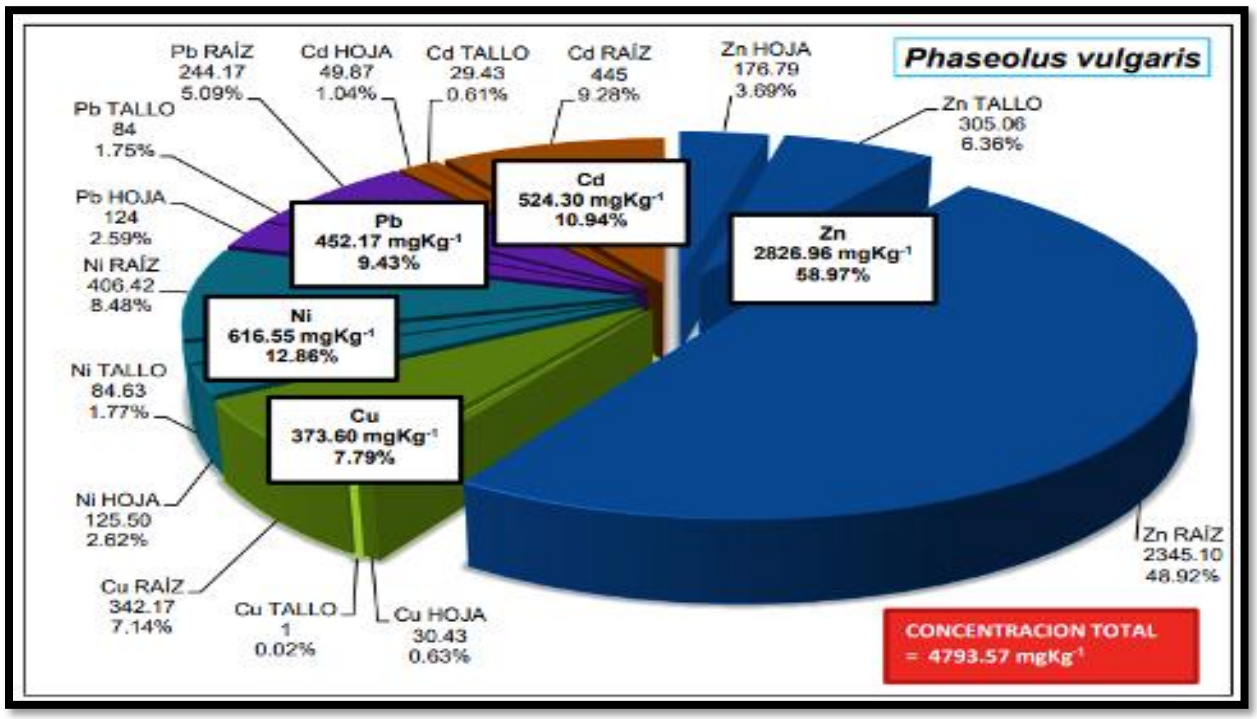


Figura 8-4. Concentración de metales pesados (mgKg-1) en el trigo. En evaluación del potencial fitorremediador de Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annus para metales pesados (p. 36), por A. Estrella, 2013, México, D.F.
Fuente: (Alarcón, 2013)

Tabla 10-4: Remoción del antraceno inicial en suelo y antraceno residual en las raíces de frijol

Bloque	Tiempo	Suministro de antraceno	Remoción de antraceno residual	Remoción de antraceno del suelo
Cultivo	Días	mg kg-1 suelo	µg g -1 suelo	%
Frijol	15	200	95.62 ± 17.94 d	52.1
	30	200	36.05 ± 2.08 f	81.9
	15	400	106.98 ± 11.92 d	73.2
	30	400	63.71 ± 8.56 e,f	84.0

Fuente: (Pérez *et al*., 2010) (Remoción del antraceno inicial en suelo y antraceno residual en las raíces de frijol. En efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol) (p. 5), por Pérez et al., México.

Según los resultados obtenidos de la investigación sobre el camote (*Ipomoea batatas*) se llegó a analizar que esta especie también es poca estudiada, pero si hay estudios que han comprobado su remoción de contaminante aplicando la fitorremediación. En el estudio realizado por el ingeniero (Montes, 2014) sobre el metal cromo, se llegó a analizar que solo el tubérculo del camote absorbe el 17 % de concentración del cromo como podemos ver en la tabla 11-4. Pero no hay estudios que demuestren la acumulación completa en todas las partes de la planta. Además, en el otro estudio realizado por la Ing. (Reyes, 2019) se pudo analizar que el camote puede llegar a absorber el 53,16 % de Pb.

Tabla 11-4: Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Camote

Volumen Contaminante: 500 ml.					
[ ] Contaminante (ppm)	**[ ] Esperada (ppm)**	**[ ] Suelo (ppm)**	**[ ] Tubérculo (ppm)**	**[ ] Residual (ppm)**	**% [ ] Absorción Tubérculo (ppm)**
10 ppm	2	6,2	1,5	2,9	30%
50 ppm	25	9,6	2,7	10,1	11%
100 ppm	50	11,4	5,1	17,1	10%
500 ppm	250	45,9	26,1	89,2	10%
1000 ppm	500	94,5	86,9	253,8	17%

Fuente: (Montes, 2014) (Resultados del porcentaje de adsorción de cromo en él tubérculo Camote. En espacialización de concentración de metales pesados cromo, zinc y plomo en el complejo industrial fabrilfame y propuesta de remediación de suelos) (p. 90), por Montes L., 2014, Ecuador.

Una vez analizadas la situación de las tres especies cultivos de cobertura utilizados para la fitorremediación, se logró investigar que estas especies son las adecuadas para la recuperación de suelos debido a que aportan grandes porcentajes remoción de contaminantes y ayudan a que el suelo vuelva a tener nuevamente su ciclo de vida. Además, estos cultivos de cobertura seleccionados poseen grandes cantidades de biomasa, se adaptan a suelos muy ácidos y a grandes temperaturas.

4.3 Propuesta de diseño experimental para la fitorremediación de suelos contaminados

Tabla 12-4: Identificación de especies, tratamientos y repeticiones

Tratamiento	Repeticiones	Especie de estudio
T1	R1, R2, R3, R4	Trigo Amazónico (*Coix Lacryma Jobi*)
T2	R1, R2, R3, R4	Frejol Rojo (*Phaseolus Vulgaris*)
T3	R1, R2, R3, R4	Camote (*Ipomoea Batatas*)
T4	R1, R2, R3, R4	Asociación de especies (*Coix Lacryma Jobi* + *Phaseolus Vulgaris* + *Ipomoea Batatas*)

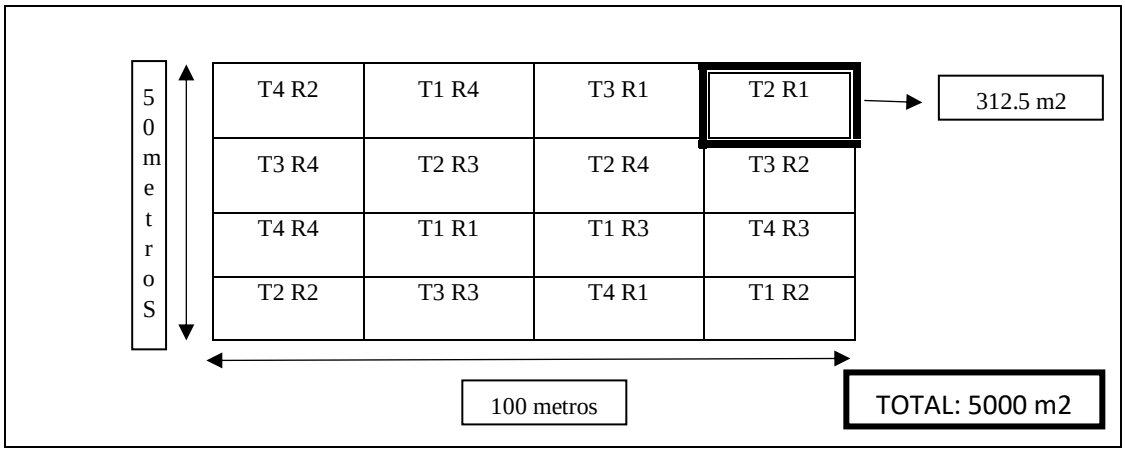


Figura 9-4. Diseño completamente aleatorio de especies de estudio

De acuerdo a las informaciones recolectadas de distintas fuentes bibliográficas y haberlas analizada, se desarrolló una propuesta mediante un diseño de fitorremediación utilizando el modelo o método de diseño completamente aleatorio con las 3 especies de estudio y dando origen a 4 tratamiento (T1: Trigo Amazónico (*Coix Lacryma Jobi)*, T2: Frejol Rojo (*Phaseolus Vulgaris*), T3: Camote (*Ipomoea Batatas*), T4: Asociación de especies (*Coix Lacryma Jobi + Phaseolus*

Vulgaris + Ipomoea Batatas) en suelo contaminado de una área de la parroquia Puerto Murialdo como podemos observar en las tabla 11-4 y figura 8-4, donde está diseñado para implementar en una área de 5000 m2 que sería media hectárea, además para llegar a la conclusión de este diseño o propuesta se inició por la caracterización de área, tratamientos y repeticiones en este caso como son 4 tratamiento así mismo se designó 4 repeticiones por tratamiento, llegando hacer un total de 16 unidades experimentales y cada unidad de 312.5 m2. Llegando a determinar que el uso de estas especies de cultivo de cobertura debe ser asociada a una técnica óptima donde sin lugar a duda se adapte a las condiciones y características de la planta, en este caso se identificó que la fitoextracción, es una de las técnicas que más se adecúa debido a las condiciones para adaptarse, absorber y acumular sus contaminantes que se encuentran presentes en el suelo mediante sus estructuras.

Al realizar comparación en función de la cantidad de bioma entre las 3 especies que son trigo amazónico, frejol rojo y camote se analizó que la especie del camote es el más adecuado debido a que posee una abundante biomasa que puede lograr absorber con más facilidad ya que su reproducción es expansiva, también puede llegar a tolerar la acides por tanto se considera una alternativa de fitorremediación. Además, la biomasa de estas especies no solo ayuda en la remoción de contaminante sino también aportan en la fertilidad del suelo, la prevención de la degradación y posibles erosiones en el sitio.

CONCLUSIONES

- A partir de la caracterización de cada una de las especies de cultivos de cobertura, se observó que las especies son de rápido crecimiento de entre 90 a 150 días, dentro de ello la especie que más rápido crece es el *Phaseolus Vulgaris* que a sus 90 días ya está de cosecha para la toma de muestra y su respectivo análisis de laboratorio, en cuanto a la biomasa y la tolerancia a la acides, y específicamente a la adaptabilidad a suelos contaminados las especies vegetales, *Coix Lacryma Jobi e Ipomoea Batatas* son los más indicadas en cuanto a la adaptabilidad al suelos contaminados, por lo que se concluye que estas especies seleccionadas son las adecuadas como alternativa o tratamiento de fitorremediación para la remoción o recuperación de suelos contaminados.
- En cuanto a las características fitoextactoras, la especie *Phaseolus Vulgaris* es la que más contiene y extrae de los suelos, en diferencia a las demás especies en estudio *Coix Lacryma Jobi* e *Ipomoea Batatas,* por ende, mediante las investigaciones realizadas la especie *Phaseolus vulgaris* es más estudiada a nivel mundial ya que es una especie con gran potencial fitorremediadora y acumuladora de muchos contaminantes.
- En relación a las investigaciones realizadas a cerca de las experiencias en fitorremediación, se llegó a concluir de las familias Poaceae y Fabaceae son las más estudias a nivel nacionales e internacional, debido a que estas especies son más reconocidas y más consumidas por la población y además también porque son las más efectivas según estudios realizados por múltiples investigadores, en cuanto a remoción de contaminantes, mientras que la especie de la familia Convolvulácea hay una escala menor de estudios con sus especies.
- Se pudo llegar a concluir que la fitoextracción, es una de las técnicas que más se adecúa debido a las condiciones para adaptarse, absorber y acumular sus contaminantes que se encuentran presentes en el suelo, que se pueden utilizarse para la recuperación de suelos mediante la fitorremediación.
- Dentro de los tratamientos propuesto de fitorremediación para recuperación de suelos contaminados, se concluyó que posiblemente la aplicación del tratamiento 4, de mejores resultados debido a las combinaciones de especies vegetales como es el *Coix lacryma jobi,*

Phaseolus vulgaris e *Ipomoea batatas*, ya que además presentan una gran cantidad de biomasa dentro de su unidad experimental a diferencia de los demás tratamientos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir con las investigaciones en procesos de fitorremediación debido a que es un método nuevo, considerado de bajo costos y además de muy fácil aplicación.
- Se sugiere utilizar las especies *Coix lacryma jobi* y *Ipomoea batatas* para estudios futuros para la captación de contaminantes de los suelos ya que hay escasa de información sobre estas especies amazónicas en el proceso de fitorremediación.
- Se recomienda desarrollar estudios de manera experimental y así ayuden a obtener mejores resultados en cuanto a la aplicación de las especies de cultivos de cobertura en la recuperación de suelos contaminados que están propuesto en este proyecto.
- Seguir realizando más estudios con estas familias Poaceae, Fabaceae y Convolvulaceae para llegar a obtener más especies que ayuden a descontaminar los suelos de la parroquia con la finalidad de prevenir más daños a los suelos y poder mejorar la calidad de vida de la población en general.
- Se recomienda tener muy en cuenta el manejo de estas especies luego de a ver aplicado en el proceso de fitorremediación, debido a que estas especies son reconocidas como hiperacumuladores de contaminantes y además se debe tener en cuenta la probabilidad de que la población que desconozcan pueda estar consumiendo estas especies, por lo tanto, se sugiere a la población cercana no consumir porque puede perjudicar la salud y contraer enfermedades.

REFERENCIAS

Agamez & Victoria. (2018). *Fitorremediación como alternativa a la descontaminación de aguas residuales industriales con cargas de metales pesados.* Recuperado el 02 de 06 de 2021, de http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17709

AGRORURAL, P. d. (2018). *Ficha tecnica camote.* Obtenido de https://www.agrorural.gob.pe/wp-content/uploads/transparencia/dab/material/MANUAL%20DE%20ABONAMIENTO%20CON%20G.I..pdf

Alarcón, E. (2013). *"Evaluación del potencial fitorremediador de Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annus para metales pesados en un cultivo hidropónico a nivel de invernadero".* Recuperado el 07 de Junio de 2021, de https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_alarcon_estrella.pdf

Alfaro y Piril. (2018). *Respuesta del cultivo de maíz (Zea mays L), a la aplicación de nitrógeno proveniente de abonos verdes y fertilizante químico, en condiciones de finca de agricultores en la región Norte de Guatemala.* Obtenido de http://www.cytcunoc.gt/wp-content/uploads/2019/05/Respuesta-del-cultivo-de-ma%C3%ADz-Zea-mays-L.pdf

Andrade, N. (2020). *Importancia del suelo en la conservación ambiental*. Recuperado el 2021, de https://www.utn.edu.ec/ficaya/carreras/recursosnaturales/?p=1281

Ayala, M. (Febrero de 2021). *Diseño de investigación: características, cómo se hace, ejemplo*. Obtenido de Lidefer: https://www.lifeder.com/diseno-de-investigacion/

Barrera *et al*. (Julio de 2018). *Fragilidad de los suelos en la amazonía ecuatoriana.* Obtenido de https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5453/1/Por%20qu%C3%A9%20son%20fr%C3%A1giles%20los%20suelos%20de%20la%20amazonia%20ecuatoriana.pdf

Basantes, E. (2015). *Manejos de cultivos andinos del Ecuador.* Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf

Benito, M. (2016). *Morfología de las gramíneas.* Obtenido de http://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/SanMiguel/APUNTES_PRESENTACIONES/PASCICULTURA%20Y%20SAF/Benito/1.%20MORFOLOGIA%20DE%20GAM%C3%8DNEAS.pdf

Biganzoli y Zuloaga. (2015). *Análisis de diversidad de la familia Poaceae en la región austral de America del Sur*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de https://www.scielo.br/j/rod/a/hC4hwdxLjyRcXBrxgQYj6mS/?lang=es

Bissanti, G. (2018). *Ipomoea batatas*. Recuperado el 23 de 04 de 2021, de Un mundo ecosostenible: http://antropocene.it/es/2018/11/18/ipomoea-batatas/

Calderón *et al*. (2018). Propiedades químicas, físicas, biológicas del suelo y sus indicadores. *ORINOQUIA, vol. 22*(2), 141-157. Obtenido de https://www.redalyc.org/jatsRepo/896/89660465002/html/index.html

Campaña, J. (Agosto de 2020). *"Caracterización fisicoquímica de un suelo agrícola del cantón Quero, influenciado por las cenizas volcánicas del volcán Tungurahua".* Recuperado el 16 de 05 de 2021, de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31589/1/BQ%20236.pdf

Carpena y Bernal. (2007). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación de suelos. *SciELO Analytics*. Recuperado el 02 de 06 de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

Castro *et al.* (2018). Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agron. Mesoam, 29*(3), 711-729. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v29n3/1659-1321-am-29-03-00711.pdf

CIAT, C. I. (1985). *Frijo: investigación y producción.* Recuperado el 07 de Mayo de 2021, de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/26201.pdf

Cobeña *et al*. (2017). *Manual técnico del cultivo de camote*. Obtenido de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/MANUALCAMOTE1.pdf

Cusumano y Zamudio. (2013). *Desarrollo de tecnología para la producción diferenciada de batata.* Obtenido de Manual técnico para el cultivo de batata (camote o boniato) en la Provincia de Tucumán (Argentina): https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_batata.pdf

Delgadillo *et al*. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Scielo*, 9. Recuperado el 02 de 06 de 2021, de http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf

Delle, V. (2020). *Degradación y reforestación*. Recuperado el 23 de 03 de 2021, de http://www.fao.org/contact-us/es/

FAO. (2015). *El suelo es un recurso no renovable*. Recuperado el 25 de Mayo de 2021, de http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/278964/

FAO, O. d. (2018). *Nuestras legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones.* Obtenido de http://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf

Flores y Mendoza. (2017). *"Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos por derrames de la estación de servicio en el campamentode Guarumales-CELEC".* Recuperado el 27 de Mayo de 2021, de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27211/1/tesis.pdf

GADP-PM, G. A. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.* Obtenido de https://www.puertomurialdo.gob.ec/index.php/2016-1/literal-s-organismos-seccionales-resoluciones-actas-y-planes-de-desarrollo/514-2016-literal-s-plan-de-desarollo-y-ot/file

García y Nallely. (2019). *Caracterización fisicoquímica y propiedades nutricionales del frijol V. Umbellata*. Recuperado el 2021, de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/11.pdf

García *et al*. (2013). *Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222013000400010

Germán *et al*. (2018). *Caracterización de especies y variedades criollas de semillas campesinas.* Obtenido de https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/cartilla-vicaria-del-sur_web.pdf

Hidalgo y Debouck. (1985). *Morfologia de la planta de frejol.* Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/132690837.pdf

Huaman, Z. (1992). *Botanica sistematica y morfologia de la planta de batata o camote* (Vols. 5-25). Lima-Perú: International Potato Center.

Japón, L. (2013). *"Influencia de niveles de nitrógeno y densidades de siembra en el cultivo de trigo tropical (Coix lacryma jobi L) en la parroquia General Farfán de la Provincia de Sucumbíos.*

Recuperado el 13 de Mayo de 2021, de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/19918/1/6422_1.pdf

Larmack. (1793). *Ipomoea batatas.* Recuperado el 23 de 04 de 2021, de Tableau Encyclopédique et Methodique, Botanique: https://www.tropicos.org/name/8500721

Ligña, M. (2014). *Efecto de cultivos de cobertura en el control de malezas y aporte de materia seca y nutrientes al suelo.* Obtenido de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/CPA-2014-048.pdf

Martinez, F. (2020). *Ficha técnica del trigo amazónico.* Recuperado el 15 de 05 de 2021, de https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-pastoreo/ficha-tecnica-del-trigo-amazonico-coix-lacryma-jobi/

Mejia, T. (Febrero de 2021). *Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos*. Obtenido de https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/

Montatixe y Eche. (Agosto de 2020). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*, *8*(1 (2021)), 1–15. Obtenido de https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1735/3181

Montes, L. (2014). *Espacialización de concentración de metales pesados cromo, zinc y plomo en el complejo industrial fabrilfame y propuesta de remediación de suelos.* Recuperado el 07 de Junio de 2021, de http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/8202/T-ESPE-047869.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Moreno, L. (2015). *Valoración nutritiva de las especies forrajeras nativas de la amazonia ecuatoriana.* Recuperado el 07 de Mayo de 2021, de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3772/1/17T1240.pdf

NIH. (2019). *Calcio*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Calcium-DatosEnEspanol.pdf

NIH. (Diciembre de 2019). *Fósforo*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/factsheets/Phosphorus-DatosEnEspanol/

NIH. (2019). *Hierro*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iron-DatosEnEspanol/

NIH. (2019). *Magnesio*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-DatosEnEspanol/

NIH. (2019). *Manganeso*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-DatosEnEspanol/

NIH. (2019). *Potasio*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Potassium-DatosEnEspanol.pdf

NIH. (2019). *Zinc*. Obtenido de https://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol/

Norman, D. (2019). *Desarrollo del frijol y sus fases fenológicas.* Obtenido de file:///C:/Users/pc/Downloads/DESARROLLO-DEL-FRIJOL-Y-SUS-FASES-AMADEUS2019.pdf

Núñez *et al*. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*. Recuperado el 03 de 06 de 2021, de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Orfila y Alfonzo. (2012). Aportes botánicos de salta. *3*(6). Recuperado el 2021, de http://eprints.natura.unsa.edu.ar/316/1/CONVOLVULACEAE.pdf

Paderes, D. (2014). *Recolección y caracterización morfológica y molecular de la colección nacional de camote (Ipomoea batata (L)).* Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8901/1/AC-B-ESPE-048130.pdf

Parada *et al.* (2018). *Cultivo de frejol (Phaseolus vulgaris L.).* Recuperado el 2021, de Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal: http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Frijol%202019.pdf

Perdomo, T. (2020). *Fitorremediación: tipos, ventajas y desventajas.* Recuperado el 02 de 06 de 2021, de https://www.lifeder.com/fitorremediacion/

Pérez *et al.* (2010). *Efecto del antraceno en la estimulación del crecimiento en maíz y frijol.* Recuperado el 09 de Junio de 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/573/57319955010.pdf

Pérez, L. (2015). *Determinación del sexo en plantas.* Obtenido de http://bioinformatica.uab.cat/base/documents/genetica_gen201516/portfolio/determinaci%C3%B3n%20del%20sexo%20en%20plantas2016_5_20P17_22_20.pdf

Pinto, M. (2012). *El cultivo del camote y el clima en el Ecuador*. Obtenido de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20%20cultivo%20del%20camote%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Murialdo- PDOTM. (2019). *Gobierno Autonomo Desentralizado Parroquial Rural Puerto Murialdo.* Obtenido de http://www.puertomurialdo.gob.ec/index.php/2016-1/literal-s-organismos-seccionales-resoluciones-actas-y-planes-de-desarrollo/514-2016-literal-s-plan-de-desarollo-y-ot/file

Porras, D. (2014). *Alimentación mixta con forrajes tropicales.* Recuperado el 07 de Mayo de 2021, de http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1923/Porras%20Cerron.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Raffino, M. (Agosto de 2020). *"Método analítico"*. Obtenido de https://concepto.de/metodo-analitico/

Reyes y Roca. (2020). *Evaluación del potencial de la especie Apio (Apium graveolens) para la recuperación de suelos degradados por salinización con carbonatos.* Recuperado el 15 de 04 de 2021, de https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30279/2020dannareyes.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Reyes, E. (2019). *"Efecto del floculante orgánico, cáscara de camote (Ipomea batata) para la biosorción de plomo en efluentes sintéticos, SJL-2019.".* Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40421/REYES_VE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez et al. (2019). *La contaminanción del suelo.* Recuperado el 2021, de http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf

Romero y Galán. (2014). La Biomasa de los cultivos en el ecosistema. *SciELO, 35*(1). Recuperado el 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002

Ruiz *et al.* (2017). *Manual técnico del cultivo de camote.* Recuperado el 22 de 05 de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/330968472_MANUAL_TECNICO_DEL_CULTIVO_DE_CAMOTE

Serrano y Goñi. (Marzo de 2004). Archivos latinoamericanos de nutrición. *ALAN, 54*(1). Recuperado el 20 de Mayo de 2021, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ce7tBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA184&dq=mineral+contents+coix+lacryma+jobi&ots=LkWehqyKQ3&sig=NNQdTut08vObnJrcePJFhZhMFTg#v=onepage&q&f=true

Sharon. (2016). *Minsterio de cultura y patrimonio*. Recuperado el 28 de 05 de 2021, de https://patrimonioalimentario.culturaypatrimonio.gob.ec/wiki/index.php/Fr%C3%A9jol

Shtangeeva, I. (2020). *Metales tóxicos extraídos de suelos contaminados por el trigo y el pasto de trigo*. Obtenido de http://news-courier.com/tn/news/toxic-metals-extracted-from-contaminated-soils-by-wheat-and-wheatgrass-338442

Simone *et al.* (2002). *Sistema nacional de vigilancia y monitoreo de plagas*. Obtenido de https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/phaseolus-vulgaris

Trujillo y Georges. (2016). Degradación de suelos del Ecuador. *ResearchGate*. Recuperado el 2021, de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/Degradacion_del_suelo_en_el_Ecuador_principales_ca.pdf

Trujillo y Ramírez. (2012). *Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia* . Obtenido de file:///C:/Users/Offer%20PC/Downloads/Dialnet-BiorremediacionEnSuelosContaminadosConHidrocarburo-5344956.pdf

Valencia *et al.* (2017). Plantas asociadas a suelos contaminados adyacentes a fosas petroleras ubicadas en los llanos orientales de Venezuela. *40*(1), 47. Recuperado el Julio de 2021, de https://www.redalyc.org/pdf/862/86254887002.pdf

Valladares, C. (Junio de 2010). *Taxonomía y botánica de los cultivos.* Obtenido de https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf

Vazquez, S. (2018). *Sodio*. Obtenido de https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/sodio

Velásquez, J. (Junio de 2017). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia.* Obtenido de https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2227

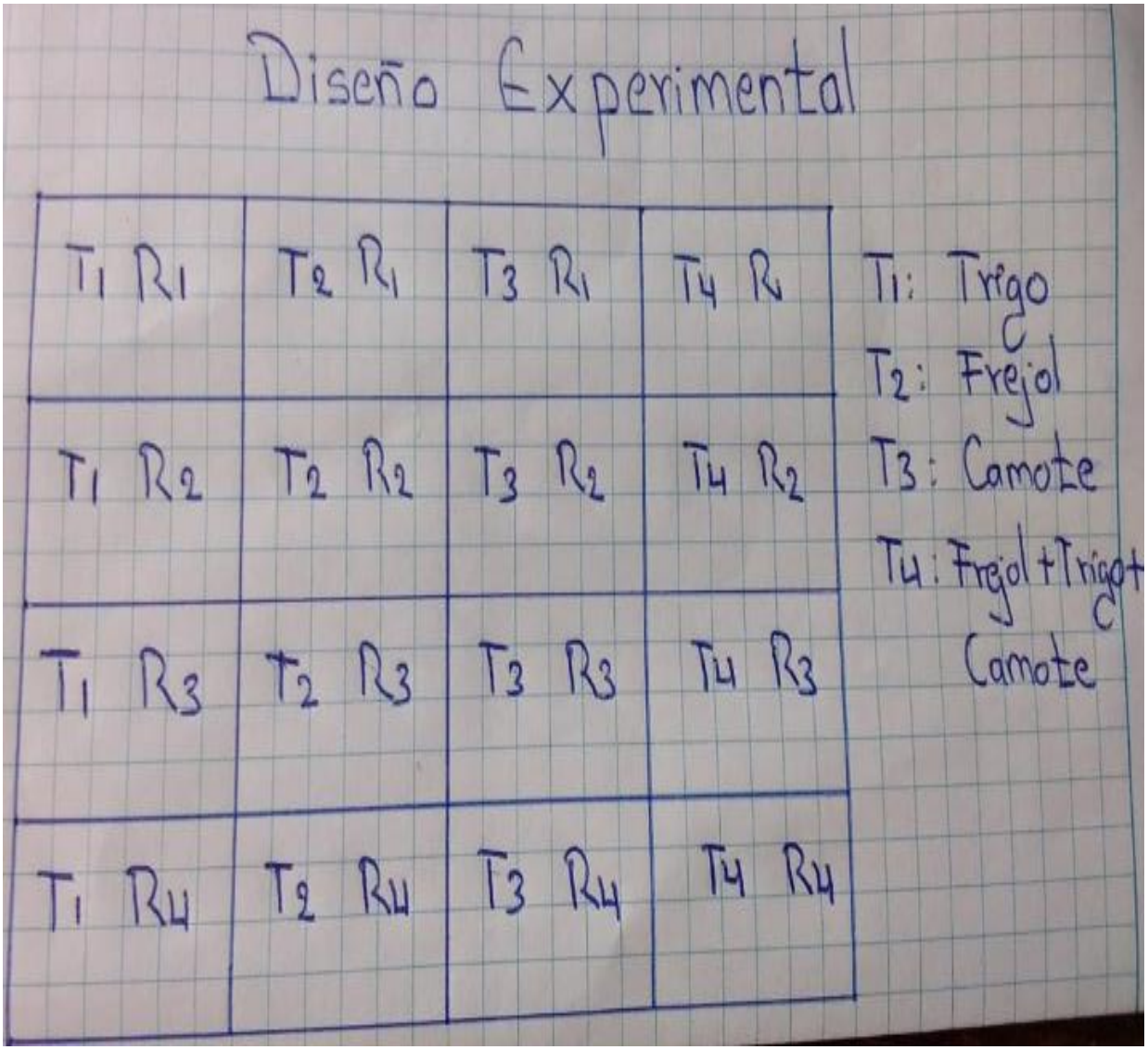
Vidal *et al.* (10 de Diciembre de 2018). Propiedades nutrimentales del camote (Ipomoea batatas L.) y sus beneficios en la salud humana. *Iberoamericana de tecnología postcosecha, 19*(2). Recuperado el 06 de Mayo de 2021, de https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81357541001/html/index.html#redalyc_81357541001_ref212

Vidal *et al*. (2018). Propiedades nutrimentales del camote y sus beneficios. *Revista iIberoamericana de tecnología postcosecha, 19*(2). Recuperado el 2021, de https://www.redalyc.org/journal/813/81357541001/html/

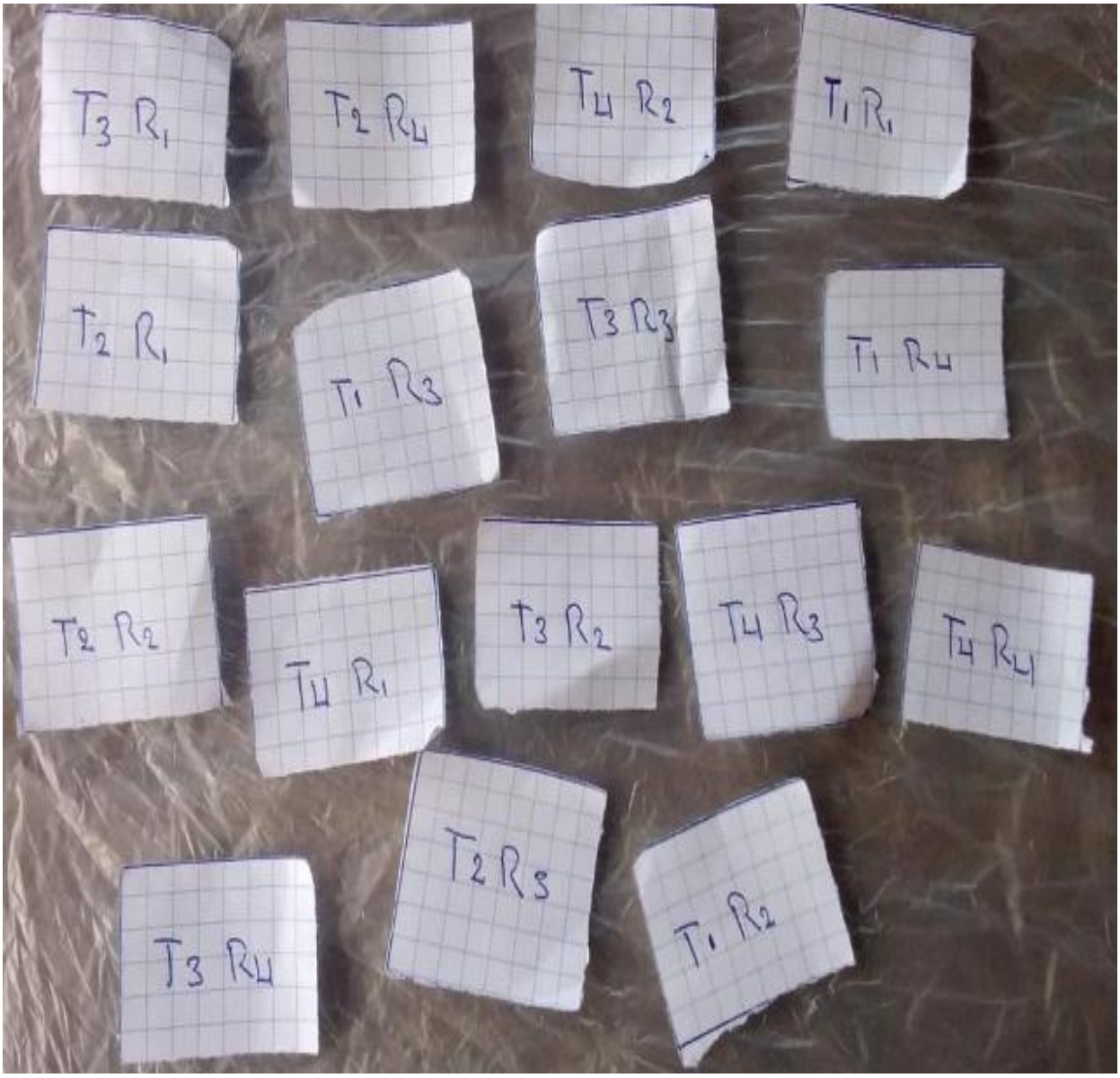
Wrigley *et al*. (2004). Encyclopedia of food grains. Recuperado el 20 de 05 de 2021, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ce7tBgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA184&dq=mineral+contents+coix+lacryma+jobi&ots=LkWehqyKQ3&sig=NNQdTut08vObnJrcePJFhZhMFTg#v=onepage&q=mineral%20contents%20coix%20lacryma%20jobi&f=true

ANEXOS

Anexo A1. Formato inicial de diseño experimental completamente aleatorizado



Anexo A2. Aleatorización de tratamiento y repeticiones en distintos puntos



Anexo A3. Formato de Diseño Completamente Aleatorizado

