



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LIXIVIACIÓN DE  
FERTILIZANTES DE FUENTES DE LIBERACIÓN SIMPLE  
(N-P-K) Y FUENTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN  
SUELOS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN LA CONCORDIA  
PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORAS: DAYANA MICHELL AGUIRRE CALERO**

**ASHLEY YAMILETT ZAMBRANO GANCHOZO**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA**

Riobamba – Ecuador

2023

**© 2023, Dayana Michell Aguirre Calero & Ashley Yamilett Zambrano Ganchozo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

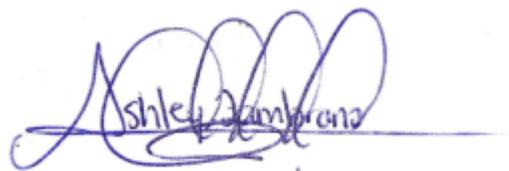
Nosotras, Dayana Michell Aguirre Calero y Ashley Yamilett Zambrano Ganchozo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de junio del 2023



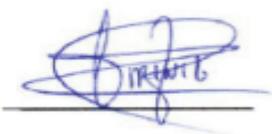
**Dayana Michell Aguirre Calero**  
**230038149-4**



**Ashley Yamilett Zambrano Ganchozo**  
**235055580-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LIXIVIACIÓN DE FERTILIZANTES DE FUENTES DE LIBERACIÓN SIMPLE (N-P-K) Y FUENTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL CANTÓN LA CONCORDIA PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**, realizado por las señoritas: **DAYANA MICHELL AGUIRRE CALERO Y ASHLEY YAMILETT ZAMBRANO GANCHOZO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-06-28
Ing. Juan Carlos González García Ph.D. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-06-28
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce Mgs. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-06-28

## DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico a mis padres Franklin Aguirre y Zandra Calero por todo el apoyo y la paciencia que han tenido conmigo, por enseñarme el valor de la educación en cada etapa de mi vida, por no rendirse ante la incertidumbre de la distancia, por creer en mí y animarme cada vez que lo necesité, al esfuerzo que hicieron día con día para demostrarme que todo es posible; a mi ahora esposo Leonardo Moposita, por darme ese empujoncito también que me hacía falta cuando sentía que todo se me venía encima, por la comprensión y el amor que me ha ofrecido desde el primer momento; me siento tan orgullosa, tan contenta de mí misma de ver lo poco o mucho que estoy alcanzando en este nuevo empezar en la vida, sinceramente creí que no podría, pero Diosito jugó sus cartas conmigo, de alguna manera me ayudo a salir adelante, me regresó la confianza, me ayudo a concretar este maravilloso sueño de ser una profesional y colocar un granito de arena en la sociedad, en el mundo!, así mismo continúo pidiendo a Diosito que me siga dando salud y vida para cumplir todos los objetivos que tengo en mente, finalmente con mucho amor me dedico esta tesis a mí, porque sé todo lo que involucró para que pueda finiquitarse y así obtener mi título de, Ingeniera Ambiental.

Dayana

Esta tesis, que le he entregado todo el alma, corazón y vida; quiero dedicarla a mi bisabuela Rosa Carpio que donde quiera que esté, se estaría sintiendo orgullosa de lo que estoy logrando y dándome todos los ánimos del mundo, llenándome de besos y abrazos. Dedico también a mis padres: Llimer Zambrano y Tatiana Ganchozo; quienes se merecen todo lo bonito de la vida por la dedicación y fe que le han puesto a mi carrera universitaria y a este trayecto después que dejaron que yo escogiera mi propio camino. A mis hermanos Zareth y Didier, que si algún día la leen sepan que fue dedicada también hacia ellos por ser mi motor. Y ser yo, la persona que les dé el ejemplo de bienestar y esfuerzo que tengan para cumplir sus metas. A mis abuelos maternos y paternos porque sé lo orgullosos que se van a sentir de ver que logré una de las metas que tenía propuesta. Quiero dedicar también a la persona que en futuro compartiré mi vida, y que hoy en día soy lo que soy gracias al apoyo incondicional de toda mi familia. Finalmente, dedicármela a mí mismo, por no darme por vencida y no haber renunciado en los momentos más difíciles y agradecer por permitirme vivir este hecho, que hoy es una realidad, sin duda ha sido un camino de mucho esfuerzo y sacrificio.

Ashley

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco infinitamente a Dios por darme la capacidad para centrarme en mi objetivo que ahora se convierten en despliegues con nuevos horizontes, agradezco tanto por cada oportunidad que me brindó, sé que con la bendición de él podré alcanzar cada una de las metas que tengo proyectadas, millón gracias a mis Padres por lograr transformar mi vida para bien, por regalarme la mejor herencia que un hijo puede tener, la educación-el conocimiento, por enseñarme a trabajar para no depender de nadie, le agradezco tanto a la vida por tener a mi familia Perfecta, agradezco también a la Ing. Ana Rafaela Pacurucu por darme la oportunidad de continuar con este sueño; agradezco tanto por cada una de las personas que formaron parte de ella en el desarrollo de esta etapa estudiantil, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme las puertas que ahora me llevan al éxito personal y profesional, al Ing. Wladimir Bravo (Biotecnólogo de Ancupa) por ser el promotor de esta idea de tesis y no abandonarnos en el trayecto de la misma, al Ing. Juan Carlos Gonzáles por la predisposición total para ayudarnos a mejorar en cada fase de este lindo proyecto.

Dayana

Para estos años de carrera y finalizando el trabajo de titulación quiero arrancar agradeciendo a Dios, por los días de vida, fuerzas y sabiduría que me dio en todo este trayecto. Seguido de mí bisabuela Rosa Carpio, que ya no está aquí en la tierra, pero fue una de las personas que influyó mucho en que me convirtiera en una mejor persona. A mis Padres: Llimer Zambrano y Tatiana Ganchozo, que han estado desde el día uno, incondicionalmente cuando pisé las tierras de Riobamba y el camino hacia la Politécnica; Quienes son mi motor y fuerza para seguir adelante y ahora poder verme convertir en uno de sus mayores sueños. A mis hermanos: Zareth y Didier por tenerme como un ejemplo a seguir y darles lo mejor de mí. A mis abuelos paternos y maternos que de una u otra manera han estado presente durante mi carrera y que hoy también mi agradecimiento va dirigido hacia ellos. También agradecer a mí Prima, Ing. Mayerly Carrera por ser mi ejemplo y apoyo incondicional desde la escuela. Al Ing. Wladimir Bravo, Biotecnólogo de Ancupa, quién fue pieza clave para este proyecto de investigación y de quién nació la idea. A Jefferson Villamar, por su valiosa ayuda, paciencia y amor durante este largo camino y por darme palabras sabias para no rendirme cuando en ocasiones estuve a punto de hacerlo. Al tutor de tesis Ing. Juan Carlos González por estar pendiente del trabajo y que todo salga de la mejor manera. Agradecer también a las amistades que me deja la Politécnica, personas que fueron parte de mí en todo el proceso y quienes estuvieron en los momentos buenos y malos. Viviendo todo el proceso que nos tocaba cruzar por llegar algún día a esto, a lo que estamos a días de conseguirlo. Finalmente agradezco infinito a las personas que han llegado hasta aquí para leer nuestra tesis, y permitir que les comparta mi experiencia y conocimiento durante este proceso.

Ashley

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1 <i>Objetivo general</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Hipótesis .....</b>	<b>6</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. Marco Teorico.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Bases teóricas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1 <i>Macronutrientes del suelo</i> .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2 <i>Dinámica del nitrógeno</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3 <i>Dinámica del fósforo</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4 <i>Dinámica del potasio</i>.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Bases conceptuales.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1 <i>Lixiviación</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 <i>Evaluación de las pérdidas de nutrientes por lixiviación</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3 <i>Contaminación de suelo por lixiviación</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.4 <i>Fertilizantes</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.5 <i>Fertilizante de fuente de liberación controlada</i> .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.6 <i>Fertilizante de fuente de liberación simple</i>.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.7 <i>Materia orgánica (mulch)</i>.....</b>	<b>14</b>

<b>2.4</b>	<b>Base legal</b> .....	15
<b>2.4.1</b>	<i>Norma de la calidad ambiental del recurso suelo</i> .....	15
<b>2.4.2</b>	<i>Norma de calidad ambiental del recurso agua</i> .....	15
<b>2.4.3</b>	<i>Ley de gestión ambiental</i> .....	15
<b>2.4.4</b>	<i>Ley orgánica de agro diversidad semillas y fomento de la agricultura sustentable</i> ...	16

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>Marco metodológico</b> .....	17
<b>3.1</b>	<b>Área de estudio</b> .....	17
<b>3.1.1</b>	<i>Localización del estudio</i> .....	17
<b>3.1.2</b>	<i>Geografía</i> .....	18
<b>3.1.3</b>	<i>Tipo de ecología (ecosistema)</i> .....	18
<b>3.1.4</b>	<i>Edafología (SIG de tierra)</i> .....	19
<b>3.2</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	19
<b>3.3</b>	<b>Nivel de investigación</b> .....	19
<b>3.4</b>	<b>Diseño de investigación</b> .....	20
<b>3.4.1</b>	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	21
<b>3.5</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	21
<b>3.6</b>	<b>Población de estudio</b> .....	22
<b>3.6.1</b>	<i>Tamaño de la muestra (cantidad de las muestras a trasladar de la ubicación)</i> .....	22
<b>3.6.2</b>	<i>Método de muestreo</i> .....	23
<b>3.6.3</b>	<i>Técnicas de recolección de datos</i> .....	23
<b>3.6.3.1</b>	<i>Método bouyoucos (textura)</i> .....	23
<b>3.6.3.2</b>	<i>Método macro – Kjeldahl</i> .....	24
<b>3.6.3.3</b>	<i>Método de espectrofotometría UV VISIBLE</i> .....	25
<b>3.6.3.4</b>	<i>Espectrometría absorción atómica</i> .....	26
<b>3.7</b>	<b>Zona de estudio</b> .....	27
<b>3.7.1</b>	<i>Puntos de muestreo</i> .....	27
<b>3.7.2</b>	<i>Materiales</i> .....	28
<b>3.7.2.1</b>	<i>Materiales de campo</i> .....	28
<b>3.7.2.2</b>	<i>Materiales y equipos de laboratorio</i> .....	28
<b>3.7.2.3</b>	<i>Reactivos y sustancias</i> .....	29
<b>3.7.2.4</b>	<i>Fertilizantes</i> .....	29
<b>3.7.3</b>	<b>Datos de suelo</b> .....	30
<b>3.7.3.1</b>	<i>Metodología para campo, suelo inicial</i> .....	30
<b>3.7.3.2</b>	<i>Metodología descriptiva del suelo inicial</i> .....	31

<b>3.7.4</b>	<b>Metodología descriptiva de los análisis de laboratorio del suelo</b> .....	32
3.7.4.1	<i>Método de macro – Kjeldahl para nitrógeno</i> .....	32
3.7.4.2	<i>Metodología por espectrofotómetro UV – Visible para fosforo</i> .....	33
3.7.4.3	<i>Metodología por espectrometría de absorción atómica para potasio</i> .....	34
3.7.4.4	<i>Columnas de lixiviación – medida de infiltración</i> .....	35
3.7.4.5	<i>Simulación de lluvia</i> .....	35
3.7.4.6	<i>Registro de la simulación de lluvia</i> .....	36
3.7.4.7	<i>Aplicación de fertilizantes</i> .....	37
3.7.5	Metodología para campo, lixiviados.....	39
3.7.6	Concentración N-P-K y fuentes de liberación controlada .....	40
3.7.7	Procedimiento de N-P-K en el laboratorio .....	41
3.7.7.1	<i>Metodología de lixiviado para fosforo en laboratorio espectrofotómetro UV-Visible</i>	41
3.7.7.2	<i>Metodología de lixiviado para potasio en laboratorio</i> .....	42
3.7.8	Metodología para campo, suelo final.....	42
3.7.8.1	<i>Metodología descriptiva</i> .....	42
3.7.9	Caracterización del suelo en laboratorio.....	43
3.7.9.1	<i>Densidad real (picnómetro)</i> .....	43
3.7.9.2	<i>Cálculo de la densidad real del suelo</i> .....	43
3.7.9.3	<i>Densidad aparente y humedad</i> .....	44
3.7.9.4	<i>Textura – método de bouyocus</i> .....	44
3.7.10	<b>Modelo estadístico</b> .....	45
3.7.10.1	<i>Análisis estadístico</i> .....	45

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	46
4.1	Caracterización del suelo inicial.....	46
4.2	Infiltración .....	47
4.3	Resultados de los lixiviados del primer monitoreo a los 15 días, segundo monitoreo a los 45 días y suelo final .....	48
4.3.1	<i>Por bloques</i> .....	48
4.4	<b>Resultados de los lixiviados en función de los bloques</b> .....	53
4.4.1	<i>Lixiviado 1</i> .....	53
4.4.2	<i>Lixiviado 2</i> .....	54
4.4.3	<i>Suelo final</i> .....	56
4.5	<b>Resultados de los lixiviados en función de la profundidad o tratamiento</b> .....	58
4.5.1	<i>Lixiviado 1</i> .....	58

<b>4.5.2</b>	<i>Lixiviado 2</i> .....	60
<b>4.5.3</b>	<i>Suelo final</i> .....	61
<b>CONCLUSIONES</b> .....		63
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		64
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b> Datos generales del cantón La Concordia .....	17
<b>Tabla 3-2:</b> Tipos de tratamientos aplicados. ....	20
<b>Tabla 3-3:</b> Diseño de la ubicación de los elementos en cada bloque y su tratamiento. ....	22
<b>Tabla 4-1:</b> Estadística descriptiva de la caracterización del suelo inicial .....	46
<b>Tabla 4-2:</b> Datos obtenidos tras el proceso de infiltración.....	47
<b>Tabla 4-3:</b> Datos obtenidos de los análisis de lixiviados del monitoreo. ....	48
<b>Tabla 4-4:</b> Datos obtenidos de los análisis de lixiviados en el monitoreo 2 (45 días) .....	50
<b>Tabla 4-5:</b> Datos obtenidos de los análisis de suelo final .....	51
<b>Tabla 4-6:</b> Análisis de varianza nitrógeno - lixiviado 1 .....	53
<b>Tabla 4-7:</b> Análisis de Varianza fosforo - lixiviado 1.....	53
<b>Tabla 4-8:</b> Análisis de varianza potasio - lixiviado 1.....	54
<b>Tabla 4-9:</b> Análisis de varianza nitrógeno - lixiviados 2 .....	54
<b>Tabla 4-10:</b> Análisis de varianza - fósforo - lixiviación 2 .....	55
<b>Tabla 4-11:</b> Análisis de varianza potasio - lixiviación 2.....	56
<b>Tabla 4-12:</b> Análisis de varianza nitrógeno final. ....	56
<b>Tabla 4-13:</b> Análisis de varianza fosforo - suelo final .....	57
<b>Tabla 4-14:</b> Análisis de varianza potasio-suelo final .....	57
<b>Tabla 4-15:</b> Análisis de varianza nitrógeno - lixiviación 1 .....	58
<b>Tabla 4-16:</b> Análisis de varianza fosforo - lixiviación 1 .....	59
<b>Tabla 4-17:</b> Análisis de varianza potasio - lixiviación 1 .....	59
<b>Tabla 4-18:</b> Análisis de varianza nitrógeno- lixiviación 2 .....	60
<b>Tabla 4-19:</b> Análisis de varianza fosforo - lixiviación 2.....	60
<b>Tabla 4-20:</b> Análisis de varianza potasio - lixiviación 2.....	60
<b>Tabla 4-21:</b> Análisis de varianza nitrógeno - suelo final .....	61
<b>Tabla 4-22:</b> Análisis de varianza fosforo - suelo final .....	61
<b>Tabla 4-23:</b> Analisis de varianza potasio - suelo final .....	62
<b>Tabla 4-24:</b> Análisis de varianza humedad - suelo final .....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Comparativa de la evolución de consumo agrícola de N,.....	8
<b>Ilustración 3-1:</b>	Área experimental.....	17
<b>Ilustración 3-2:</b>	Ubicación del área de estudio .....	18
<b>Ilustración 3-3:</b>	Diseño de bloques.....	21
<b>Ilustración 3-4:</b>	Curva de calibración para K. ....	27
<b>Ilustración 3-5:</b>	Diseño de unidades experimentales.....	28
<b>Ilustración 3-6:</b>	Metodología para campo, toma de muestras de suelo .....	30
<b>Ilustración 3-7:</b>	Submuestra extraída en laboratorio de las .....	31
<b>Ilustración 3-8:</b>	Metodología descriptiva para el análisis de Nitrógeno en suelo.....	32
<b>Ilustración 3-9:</b>	Metodología descriptiva para el análisis de Fósforo en el suelo.....	33
<b>Ilustración 3-10:</b>	Metodología para el análisis de potasio en muestras .....	34
<b>Ilustración 3-11:</b>	Fertilizante de Mezcla Física .....	38
<b>Ilustración 3-12:</b>	Fertilizante de Liberación Controlada - Yaramila Unik 16. ....	38
<b>Ilustración 3-13:</b>	Fertilizante + materia orgánica. ....	39
<b>Ilustración 3-14:</b>	Metodología para campo, toma de muestras en lixiviados. ....	39
<b>Ilustración 3-15:</b>	Extracción de lixiviados.....	41
<b>Ilustración 3-16:</b>	Metodología para análisis de fosforo en lixiviados. ....	41
<b>Ilustración 3-17:</b>	Metodología para análisis de potasio en lixiviados. ....	42
<b>Ilustración 3-18:</b>	Metodología en campo para tomar muestras de suelo final.....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y UBICACIÓN DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL EXPERIMENTO.

**ANEXO B:** OBTENCION DE LAS MUESTRAS Y ANALISIS DE LABORATORIO.

## RESUMEN

Los fertilizantes son fuente de lixiviados los cuales representan un riesgo al generar impactos negativos sobre el medio, afectando directamente al suelo y aguas subterráneas. Este estudio se realizó con el objetivo de analizar los lixiviados provenientes de fertilizantes de fuentes simples N-P-K fuentes de liberación controlada en suelos agrícolas de cultivos de Palma Africana del cantón La Concordia. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo mixta y nivel descriptivo con diseño de bloques completos al azar. Se analizaron 90 muestras provenientes de dos monitoreos realizados a los 15 y 45 días; mediante 5 tratamientos con 3 réplicas para cada uno (1. Blanco; 2. MO+Fc; 3. Fs; 4. Fc; 5. MO+Fs) a las profundidades de 15, 30 y 45 cm. Se realizó una caracterización preliminar y post tratamiento mediante la metodología de Kjeldahl para nitrógeno, Uv-visible para fósforo y AAS para potasio. Mediante esta metodología se logró determinar que para Nitrógeno se encuentra en un rango del 0,015% – 0,56%, por otro lado, en los resultados del análisis de Fósforo va de un rango de 0,154 – 6,376 mg/kg, mientras que de 4,973 - 66,926 meq/100g corresponde a los análisis de Potasio, en cuanto a la Materia Orgánica presenta valores que van de 5,9% – 20,04% estos datos son a nivel general respecto a los 3 bloques. Por lo que se concluye que como tratamiento de fertilizantes simples y controlados no hay mucha diferencia, el más conveniente es utilizar la materia orgánica antes de aplicar algún fertilizante, ya que hay menor lixiviación y la planta puede aprovechar todos los nutrientes que este tratamiento retiene en el suelo.

**Palabras clave:** <FERTILIZANTE SIMPLE>, <FERTILIZANTE COMPUESTO>, <MATERIA ORGÁNICA>, <LIXIVIACIÓN>, <NITRÓGENO>, <FÓSFORO>, <POTASIO >, <TRATAMIENTOS>.

1534-DBRA-UPT-2023



## **ABSTRACT**

Fertilizers are a source of leachate, which represents a risk by negatively impacting the environment directly affecting the soil and groundwater. This study aimed to analyze the leachate from fertilizers from simple sources N-P-K controlled release sources in agricultural soils of African palm crops in La Concordia canton. The implemented methodology had a quantitative approach of a mixed type and descriptive level with a randomized complete block design. Ninety samples from two monitors carried out at 15 and 45 days were analyzed through 5 treatments with three replicates for each one (1. Blank; 2. MO+Fc; 3. Fs; 4. Fc; 5. MO-t-Fs) at depths of 15, 30 and 45 cm. A preliminary and post-treatment characterization was done using the Kjeldahl methodology for Nitrogen, UV-visible for phosphorus and AAS for potassium. Through this methodology, it was possible to determine that Nitrogen is in a range of 0.015% to 0.56%; on the other hand, in the results of the Phosphorus analysis, it ranges from 0.154 - 6.376 mg/kg, while from 4.973 - 66,926 meq/100g corresponds to the Potassium analysis. Concerning Organic Matter, it presents values ranging from 5.9% - 20.04%; these data are at a general level concerning the three blocks. It is concluded that as a simple and controlled fertilizer treatment, there is not much difference; the most convenient is to use organic matter before applying any fertilizer since there is less leaching, and the plant can take advantage of all the nutrients that this treatment retains in the soil.

**Keywords:** <SIMPLE FERTILIZER>, <COMPOSITE FERTILIZER>, <ORGANIC MATTER>, <LEACHING>, <NITROGEN>, <PHOSPHORUS>, <PHOTASIUM>, <TREATMENTS>.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to read "Paul Obregon".

**Ing. Paul Obregón. Mgs**

**0601927122**

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un elemento que representa gran valor en el trabajo de las personas del campo, y para compensarlo necesitan incrementar y conservar los nutrientes presentes en la tierra (macro y micro nutrientes), que a su vez requieren de un estímulo a largo plazo, es por ello que en los cultivos convencionales se incorpora en ciertas ocasiones desproporcionadas cantidades de fertilizantes solubles con el objetivo de lograr mayores resultados en la producción (Gonzalez, Sadeghian y Arias 2015), pero la sobre aplicación ha provocado: eutrofización, contaminación altamente tóxica de las aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación de suelos y ecosistemas, desequilibrio biológico y pérdida de biodiversidad (González 2019), uno de los cultivos que está abarcando gran territorio es la población de palma aceitera la cual está generando un enorme impacto ambiental a nivel mundial, siendo éste un problema agudo ante los países del Sudeste Asiático y América Latina, su crecimiento se debe a la gran demanda por parte de los países del Norte para la productividad de varias cosas como biocarburante, lubricantes, cosméticos y alimentación según datos del Atlas de Justicia Ambiental (EJAtlas) del ICTA-UAB (Barcelona 2017); (Brundtland 1987), menciona que “Las siguientes décadas presentan el mayor desafío que los sistemas alimentarios del mundo puedan jamás enfrentar”, dicho esto, hace relación a la incrementación de la humanidad en la era actual, que a su vez también genera la demanda exhaustiva del producto para el sector agrícola, que hasta el día de hoy enfrenta una situación crítica que necesita desembocarse en un desarrollo económico y social, pero sustentable (Bula 2020).

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

Los cultivos de palma aceitera se distribuyen en distintas regiones geográficas donde existe notable diferencia entre clima y suelo. Las diversas características actuales de los suelos dentro de los círculos productivos se catalogan como procesos naturales de formación de suelos y cambios inducidos por el manejo, tanto durante el establecimiento de la palmera como a través del cultivo mismo. Las limitaciones físicas más comunes en los suelos son la alta compactación y la baja conductividad hidráulica, mientras que las limitaciones químicas son la baja capacidad de intercambio catiónico y los bajos niveles de disponibilidad de nutrientes, principalmente N, K, Mg, B y P (M. 2018). Además, las limitaciones físicas del suelo y los períodos de escasez de agua para los cultivos en algunas regiones limitan significativamente la eficiencia de la fertilización. A pesar de la gran variedad de suelos, los palmicultores tradicionalmente solo han utilizado el análisis foliar para identificar las debilidades de las plantas como base para el diagnóstico nutricional y la fertilización (M. 2018)

El nitrógeno es un elemento de gran relevancia tanto en los sistemas orgánicos como en los convencionales y es uno de los elementos más restringidos en la producción de cultivos. Recientemente, el nitrógeno ha llamado la atención debido a su magnitud en los problemas de impacto ambiental, la desnitrificación, las emisiones de  $N_2O$  son un contribuyente significativo a la lixiviación debido al uso excesivo de fertilización con nitrógeno, contribuye al crecimiento de los dos impactos antes mencionados (Thurtell 2016).

El simple hecho de que la estructura orgánica del N exista en la rizosfera del suelo no permite la utilización inmediata del elemento, ya que para ser consumido por las plantas necesita ser convertido a una forma inorgánica, resultando un porcentaje de 0.002 del nitrógeno total en el suelo, presente en  $NO_3^-$  (sal de nitrato),  $NH_4^+$  (amonio) y  $NO_2^-$  (nitrito). Así, en los ecosistemas, existe una relación inversa entre la cantidad y la adecuación de las diversas formas de nitrógeno en las plantas (Perdomo 2016).

En cuanto a la relevancia del fósforo (P) y al potasio (K) forma parte de los macronutrientes. El fósforo aporta al crecimiento y desarrollo de las plantas como transferencia de energía. La relación

entre el fósforo con diferentes nutrientes que componen el suelo es de gran interés en la captación, transporte y aprovechamiento de este elemento por parte de las plantas.

La deficiencia de fósforo sucede generalmente cuando el contenido del mismo en la planta es menos de 0,2%. La deficiencia temporal de P puede ser causada por baja temperatura del suelo, especialmente después de las siembras de verano. Por eso es por lo que el P como DAP (Fosfato Diamónico) se incluye en las formulaciones de fertilizantes complementarios, la escases conduce a un crecimiento retardado y más bajas proporciones de brotes/raíces (Fernández 2017; Rahman 2020).

En cuanto al potasio desempeña un papel primordial en el metabolismo de las plantas, pese a que este no tiene una función específica, siendo el componente sustancial para las diferentes funciones de la palma como por ejemplo: en la fotosíntesis, equilibrio de la respiración, síntesis de las proteínas, metabolismo del nitrógeno, translocación de los hidratos de carbono, al mismo tiempo es un activador de muchas enzimas, confiere a las plantas resistencia al ataque de hongos, heladas y a la falta de agua, deficiencia en la apertura y cierre de las estomas (más entrada de CO<sub>2</sub>) (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) 2016), volviéndose imprescindible para la vida de la planta. Los síntomas de deficiencia se aprecian a partir de una concentración del 70% de K, mientras que, en un 50% de K, ya son bastante característicos sus síntomas.

El alto contenido de K en el suelo no quiere decir que está a disposición de la planta, más bien la realidad es que solo una pequeña fracción está disponible. Mucho de este potasio se halla en cierto estado formando parte de la estructura de minerales y solo se volverá disponible cuando estos minerales se meteoricen (descompongan). Otra fracción es la del potasio lentamente disponible, y es atrapado entre las capas de suelo de arcilla lo que es fuertemente retenido, prácticamente es una pérdida (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) 2016).

Por consiguiente, dado que no existe un estudio de Palma Aceitera de este tipo en el Cantón La Concordia y siendo la agricultura un pilar fundamental en el desarrollo productivo de un país, es primordial conocer si las prácticas agrícolas aplicadas son idóneas y si estas interfieren en la fertilidad del suelo, así como en la calidad del mismo. Aunque la lixiviación de (N-P-K) y de fuentes controladas, procedentes de la agricultura no puede evitarse completamente, puede controlarse ajustando la aportación de fertilizantes, un riego adecuado a las necesidades reales de la planta y estudios de suelo. Es la mejor manera de controlar los elementos residuales. El objetivo de esta investigación aspira encaminar una agricultura de calidad que le permita ser mucho más ventajoso y competitiva en el mercado minimizando el uso de recursos y la contaminación de estos.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo general***

- Analizar la lixiviación proveniente de fertilizantes de fuentes simples (N-P-K) y de fuentes de liberación controlada en suelos agrícolas de cultivos de Palma Africana del cantón la Concordia

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Caracterizar los suelos provenientes de los cultivos de palma africana de la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) del cantón La Concordia.
- Determinar la infiltración de fertilizantes de fuentes simples y de liberación controlada aplicando un sistema de columnas de lixiviación en suelos provenientes de cultivos de palma africana de ANCUPA.
- Evaluar las cantidades de N-P-K de los lixiviados procedentes de diferentes fuentes de fertilizantes en suelos provenientes de cultivos de palma africana de ANCUPA.
- Ensayar el efecto de la aplicación de materia orgánica (Mulch) sobre la lixiviación de fertilizantes.

## **1.3 Justificación**

El cantón La Concordia es uno de los estados más importantes del país, no solo por su riqueza productiva asociada con énfasis en el sector agropecuario, sino también manteniendo ingresos positivos por exportaciones e importaciones; la expansión y diversificación del área productiva requiere de un grupo numeroso de personal, lo que ha llevado a que La Concordia y sus alrededores se conviertan en un contenedor del proceso migratorio de los diferentes sectores del país, ya que existen varios tipos de producción, como palma aceitera, abacá, piña, plátano, etc., por lo que vale la pena señalar que el asentamiento de diferentes grupos étnicos es bastante cuantioso (PDYOTLC 2013).

Dentro de lo que cabe la contaminación en el medio ambiente y la inclusión de microorganismos o sustancias nocivas, alteran el equilibrio ecológico, provocando trastornos en el medio físico y al hombre, lo que hace que en la zona se presenten pocas industrias y automotores que comprometan gravemente a los factores suelo y aire (PDYOTLC 2013), éste parámetro se considera negativo, pero que con medidas de control, prevención, mitigación, monitoreo permanente y una adecuada legislación y ordenanzas se puede contrarrestar los efectos ambientales causados por este tipo de impactos (Orús Pueyo 2019).

La presencia de plantas procesadoras y extractoras de palma aceitera ubicadas a menos de 20 km del centro del área de estudio impacta negativamente al medio ambiente, debido a la contaminación de ríos, estuarios y suelos agrícolas de la zona; la misma participación de éstas, ha provocado que el suelo esté muy contaminado y que gran mayoría de los propietarios no realicen los respectivos protocolos para evitar alteraciones en el ambiente, más bien es algo común que las empresas descarguen sus residuos directamente en los cuerpos de agua más cercanos, los mismos que son utilizados para actividades como: consumo doméstico o de uso agrícola, entre otros, (PDYOTLC 2013).

La gran mayoría de agricultores optan por la utilización de abonos químicos dado su facilidad y su costo no elevado, pero ¿qué tan tecnificado es esta fertilización?, al observar las técnicas de cultivo utilizadas, en su mayoría se basan en un tipo de labranza tradicional, sin una relación adecuada entre la cantidad de productos químicos usados y el requerimiento de su cultivo en particular. Del mismo modo se observa que si bien el sistema de riego ha sido un pilar fundamental en el desarrollo agrícola, este debe estar encaminado en el aprovechamiento responsable de este recurso, ya que se puede visualizar en la zona un predominio del riego por inundación y por goteo o aspersión, normalmente, las cantidades de agua aplicadas por inundación son excesivas y contribuyen a lixiviar los nutrientes más solubles, principalmente en suelos de textura leve, de francos a más arenosos (Violic 2018). Como en las zonas de riego por inundación normalmente la capa freática está cerca de la superficie o por encima de la misma, el riesgo de contaminación por iones, como nitratos y sulfatos, es relativamente alto, principalmente si se utilizan elevadas dosis de fertilizantes en los cultivos, no obstante, el sistema de goteo o aspersión aparentemente no produce ningún proceso de deterioro. La energía del agua que llega al suelo es insuficiente para producir erosión, resaltando que en la Concordia se registran a su vez precipitaciones durante todos los meses del año. Las lluvias tienen una media anual que está en el orden de los 2.000 a 3.000 mm. de precipitación (PDYOTLC 2013).

El motivo de realizar esta investigación será encaminado exclusivamente para las personas que se dedican al cultivo en general, promoviendo las buenas prácticas agrícolas para un correcto manejo de abonos, fertilizantes y técnicas de riego, con el objetivo de obtener un rendimiento agrícola mayor y con análisis demostrar el grado de lixiviación mediante las técnicas convencionales utilizadas con fertilizantes de fuentes simples (N-P-K) y de fuentes de liberación controladas.

La ingeniería ambiental no solo busca brindar soluciones a los problemas ambientales y la contaminación, sino también ayudar a las comunidades a mejorar las técnicas a través de una guía sobre desarrollo sustentable donde el uso de los recursos sea el apropiado.

#### **1.4 Hipótesis**

La concentración de fertilizantes N-P-K y de fuentes de liberación controlada en suelos agrícolas, es proporcional al proceso de lixiviación.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

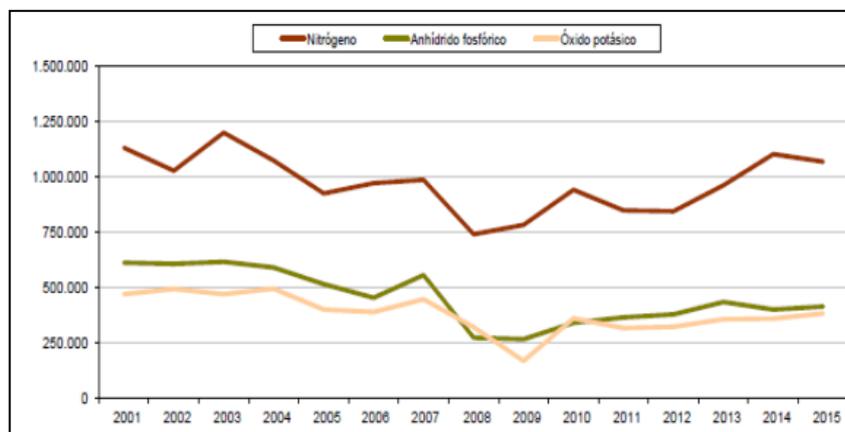
#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Los cultivos de palma africana representan un alto potencial productivo, los cuales generan una gran cantidad de biomasa en forma de racimos, hojas, raíces, inflorescencias y tallos. Por lo tanto, la extracción y utilización de nutrientes es alta en este tipo de cultivos. La propagación de esta planta está reemplazando aproximadamente en un 40% los bosques tropicales y en un 32% los pastos naturales, según un estudio del ICTA-UAB en Guatemala. Los investigadores determinan que el suelo utilizado para su producción tarda 25 años en volver a ser fértil (infoAgro 2016; Barcelona 2017), esto se debe principalmente a que no todos los nutrientes incorporados en el suelo son absorbidos por las plantas, pues, solo algunos de ellos son utilizados, mientras que los otros nutrientes se encuentran retenidos en la tierra, es el caso del nitrógeno, en la aplicación de este elemento pueden producirse pérdidas por fenómenos de volatilización, degradación o lixiviación que provoque el deterioro de la zona de cultivo (Leal 2017).

En la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, (Jiménez Diego Mauricio, 2015) evaluó la fertilización de liberación controlada para el primer año en palma aceitera, utilizando el híbrido interespecífico O x G (*Elaeis oleífera Coari* x *Elaeis guineensis Lamé*). La única causa en indagación fue la fertilización, con tres grados (19-8-12-2 a 200, 300, 400 g. planta<sup>-1</sup>) frente a la fertilización tradicional como testigo. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones, estimando emisión foliar, tamaño de la hoja, diámetro del estípite, altura o parte superior de la planta, índice de vigor, peso de biomasa en fresco, peso del material seco de la zona foliar, peso de las raíces secas y, finalmente, el análisis foliar. No se observó diferencias estadísticas entre tratamientos. Se analizó también la fórmula nutricional de los macronutrientes (N, P, K, Mg) más económica en la relación costo/materia seco de la zona foliar, determinando que el tratamiento 1 (19-8-12-2, 300 g) es el más rentable (Oliva 2017).

Los fertilizantes o abonos orgánicos permiten restaurar a los suelos nutrientes que las plantas extraen o separan, o que los suelos pierden por lavado, retrogradación y erosión. Los experimentos realizados a lo largo de este tiempo demuestran significativamente la acción de los fertilizantes sobre la productividad de los cultivos.

En la ilustración 2-1, se observa la relación de los elementos nutritivos principales como: Nitrógeno, Fósforo y Potasio (Oliva 2017).



**Ilustración 2-1.** Comparativa de la evolución de consumo agrícola de N, P<sub>2</sub>O<sub>6</sub> Y K<sub>2</sub>O en fertilizante/tonelada

**Fuente:** Análisis estadístico, 2015.

Se puede observar la magnitud del problema que tiene el consumo excesivo de fertilizantes con esta composición acarreado consigo las dificultades que dañan el hábitat de muchos seres vivos que son igual de importantes en el equilibrio ecológico, por lo tanto, es de interés encontrar alternativas que puedan reducir el impacto ambiental respecto al uso de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, ya que el desconocimiento de las dosis requeridas por las plantas, puede llegar a afectar no solo en la alteración del suelo sino también de las aguas subterráneas con el pasar del tiempo (Oliva 2017).

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 *Macronutrientes del suelo*

Uno de los mayores problemas que aparecen es la pérdida de fertilidad, referente a la "fertilidad química del suelo" o en la pérdida de los nutrientes, que se conoce como una "deficiencia de nutrientes". Esto significa que uno o más nutrimentos están en el suelo en una cantidad que no permite que un cultivo satisfaga sus necesidades queriendo decir que la cantidad es mínima para que la planta pueda aprovecharla y entonces se presentan problemas de crecimiento, desarrollo y producción. Los síntomas pueden ser: la reducción del área foliar que provoca menor intercepción de la radiación, resultando en plantas más chicas, deficientes y con menor rendimiento (ONU 2022).

Las plantas extraen principalmente Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) nutrientes que son denominados macronutrientes; seguido se encuentra el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S) denominados como meso nutrientes y en menor porción se encuentran: Hierro, Zinc, Molibdeno, Boro, Cobre, Manganeso, Cloro, Aluminio, Sodio y Cobalto (micronutrientes). Luego de cumplido el ciclo en un cultivo para grano, parte de estos nutrientes regresan al suelo a través de los rastrojos (Guitan 2008; Sánchez 2007)

### **2.2.2 *Dinámica del nitrógeno***

Los ciclos biogeoquímicos del fósforo (P) y del nitrógeno (N) son métodos dinámicos que solo suceder a través de la biosfera, donde cuyos mecanismos de cambio y transformación dependen del aprovechamiento de estos elementos para distintas formas de vida. Por lo tanto se reconoce que la diversidad y la actividad de las poblaciones microbianas posee un papel importante en beneficio de esta dinámica de los nutrientes y por tanto el desafío está en comprender cómo responden a las condiciones ambientales (Benimeli et al. 2019).

La dinámica de este componente en la biosfera comprende inicialmente la fijación de nitrógeno (N<sub>2</sub>), la digestión, la nitrificación, la desnitrificación (Hayatsu, Tago y Saito 2018). Y la oxidación anaeróbica del amonio (Li et al. 2022), Estos procesos mediados principalmente por microorganismos presentes en el suelo (Klotz y Stein 2018). (Delgado y Salas 2016) plantean que la determinación cuantitativa de los diferentes compartimientos orgánicos y minerales está vinculada no solo con el aprovechamiento de los nutrientes si no también con la susceptibilidad de la variación a causa del control y a los sistemas de producción y procesos del suelo, donde estos compartimientos estén involucrados (Perdomo 2016).

### **2.2.3 *Dinámica del fósforo***

Este elemento proviene de los depósitos de fosfato natural de donde es un elemento libre a través de procesos de erosión, lixiviación, y extracción industrial como fertilizante. El fosfato liberado lo absorben las plantas y la biomasa microbiana, luego se adjunta en la materia orgánica de los suelos y sedimentos, y nuevamente se deposita en formas minerales poco solubles. Incluso el fósforo, aplicado como fertilizante en forma de superfosfato, puede de una manera más fácil reconstituir compuestos inorgánicos inutilizables, debido a su inmovilización sobre la materia orgánica y arcillas (Rahman 2020).

La mayoría del P de los ecosistemas terrestres se encuentra en el suelo; entre un 15 y un 80% de dicho contenido orgánico (Po), dependiendo de la naturaleza del material parental, el nivel de precipitación, el daño de este, entre otros. La principal fuente de compuestos de nutrientes orgánicos de fósforo (Po) la constituyen residuos de plantas, animales y microorganismos, que liberan compuestos como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ésteres, lo que representa entre un 30% y un 60% del P total.

La disponibilidad de estos iones está de una manera ligada a la influencia por el pH del suelo y por la adición de fertilizantes (Marjan Kluepfel 2016). La disponibilidad del P también está dada por el uso del suelo; alteración en las plantas de pastizales a bosques de coníferas aumentan la mineralización del mismo (Mátyás1 et al. 2020).

#### ***2.2.4 Dinámica del potasio***

El potasio es un elemento nutritivo primordial para todos los organismos vivos. Los vegetales necesitan cantidades elevadas de este nutriente siendo semejante al requerimiento de nitrógeno (Mengel y Kirkby 2000). Se lo encuentra en todos sus órganos movilizándose fácilmente de una parte a otra de la planta, que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; (Mengel y Kirkby 2000). Al participar de esta sucesión metabólicas el K actúa favoreciendo el desarrollo vegetativo, obteniendo mejores resultados en la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos.

Las plantas adhieren el potasio del suelo que proviene de la meteorización de los minerales, de la mineralización de los residuos orgánicos o el que proviene de los abonos y fertilizantes (Perdomo, Carlos, Hernandez 2010).

La solución del K en el suelo está disponible y puede ser absorbido por las plantas de una manera rápida, pero las cantidades de este elemento al ser mínima la porción, se encuentra en esta forma. Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el potasio de la solución del suelo. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de K de la solución del mismo (Marín Morales 1978).

## **2.3 Bases conceptuales**

### **2.3.1 Lixiviación**

La lixiviación corresponde al desplazamiento de sustancias solubles o dispersables como arcilla, sales, hierro, humus entre otros, originando que los horizontes superiores del suelo pierdan sus compuestos nutritivos movilizados por el agua; incluso se vuelven más ácidos, debido a la presencia de compuestos insolubles entre ellos el aluminio; llegando a que en ciertas ocasiones se origine toxicidad, tras este proceso también se pierden grandes cantidades de fertilizantes. El proceso de lixiviación tiene su dependencia en cuatro factores, la planta, el suelo, el clima y el manejo, cada uno de estos componentes influye en la pérdida de nutrientes que se incorporan o existen en el suelo, sobre todo el clima tiene mucho que ver, puesto que las lluvias provocan que los fertilizantes agregados en la superficie de los terrenos se disuelvan más rápido y favorezca las reacciones químicas y bioquímicas. Entre mayor sea la cantidad de precipitación, más intensa y menos distribuida, mayores serán las pérdidas de los compuestos nutritivos (Gonzalez, Sadeghian y Arias 2015).

### **2.3.2 Evaluación de las pérdidas de nutrientes por lixiviación**

La pérdida de nutrientes por lixiviados puede evaluarse en el campo como en el laboratorio. En el caso de la zona del campo, se colocan instrumentos que sean eficaces como: i) Copas de succión para extraer la solución del suelo, que puede estar sujeto a pérdidas de los nutrientes por lavado en una o más profundidades durante cierto período de tiempo durante precipitaciones; ii) En el caso de los lisímetros, en los cuales se recolecta la solución percolada en un área determinada que es la zona de estudio; y iii) Los cilindros dispuestos con una resina de intercambio iónico capaz de retener los cationes o aniones presentes en la solución del suelo (González 2019).

### **2.3.3 Contaminación de suelo por lixiviación**

Las consecuencias destructivas de los fertilizantes en el suelo empiezan por la alteración del pH, deterioro de la estructura tanto del suelo y microfauna. La percolación de nitratos (producto de ciertas prácticas agrícolas) promueve su penetración en aguas subterráneas y superficiales, Los principales efectos de la aplicación excesiva de nitrógeno son la eutrofización, la acidificación y la toxicidad.

Es importante recalcar que las plantas llegan a absorber desde un 30% a un 50% de los fertilizantes químicos lo que quiere decir que el resto se pierde en el suelo por lixiviación.

El fósforo uno de los componentes de los fertilizantes, es indispensable en el crecimiento de las plantas y en la producción de alimentos. Su principal impacto ambiental es la rapidez en los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua ya sea movilizado a través de la superficie terrestre o incluido directamente, llevando a la proliferación de cianobacterias. Las principales causas son la sobre fertilización o la contaminación por residuos de la producción animal (González 2019).

#### **2.3.4 Fertilizantes**

Si bien los minerales son la base de la nutrición de las plantas, la fertilidad en el suelo es solo un factor de producción, pues tiene la capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas. La sola presencia de elementos nutritivos no precisamente favorece a la planta directamente, pero estos elementos deben ser retenidos por un período de tiempo para evitar pérdidas, y cualquier sustancia o mezcla de sustancias incorporadas al suelo o aplicadas a las partes aéreas deben ser suministradas a las plantas con el fin de proporcionar los elementos requeridos por las mismas al igual que promover en su crecimiento, aumentar la productividad y mejorar la calidad de los cultivos (Agrón 2015).

- Por su composición química:
  - Simples: formados a partir de una sola sustancia, incluso si contiene uno o más nutrientes en la molécula (Ej.: urea, nitrato amónico, sulfato, amónico, superfosfato simple, etc.,).
  - Compuestos: Fertilizantes que resultan de la mezcla de uno o más elementos en un mismo prills. Ej: 16- 16 -16, significando un porcentaje de las unidades de fertilizantes contenidas en 100 kg del mismo (riqueza).
- Por su estado físico:
  - Sólidos: según el tamaño de las Partículas.

Se encuentra los granulares: el tamaño de partícula oscila entre 0.5 y 5 mm. Su forma de presentación puede ser en gránulo normal (fertilizantes simples y complejos) o a la vez puede ser perlado (urea) y encontrar los 3 elementos principales en un solo prills.

### ***2.3.5 Fertilizante de fuente de liberación controlada***

La industria de los fertilizantes ha realizado importantes avances en la mejora tecnológica de estos productos, con el objetivo de mejorar su eficiencia de uso. Los avances tecnológico-industriales para demostrar la eficiencia agronómica de los fertilizantes se han centrado en el elemento nutritivo principal al Nitrógeno por tres razones: es el factor de manejo más importante en los rendimientos a escala global, y por la necesidad de sostener el rendimiento sin poner en riesgo la calidad del suelo y ambiente (Ubidia 2017a).

Los fertilizantes de liberación controlada se desarrollan bajo una tecnología con bases de recubrimiento de doble capa de polímeros mientras que los de liberación lenta está principalmente basada en un compuesto molecular constituido por dos partes: una parte soluble y una segunda que crea una molécula final que es no soluble y que se va rompiendo lentamente para ir liberando el nitrógeno. Mediante estudios se ha demostrado que se ha alcanzado una reducción de la dosis de fertilización de entre 25% a 50% según el cultivo y suelo, lo que permite que al momento de hacer una inversión en fertilizante sea más eficiente y a la vez reduzca el riesgo de lixiviación, escorrentía o volatilización (Ubidia 2017b).

### ***2.3.6 Fertilizante de fuente de liberación simple***

Los fertilizantes que contienen sólo un nutriente primario son denominados fertilizantes simples o a la vez fertilizantes que sean de mezcla física con el mismo porcentaje de elementos principales. Unos de los fertilizantes simples más utilizados en los cultivos son los siguientes:

- Urea con 46% de N, es la mayor fuente de nitrógeno en el mundo debido a su alta concentración. Sin embargo, para su aplicación requiere excepcionalmente buenas prácticas agrícolas y protocolo ordenado con cantidades exactas para evitar, en particular, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire (FAO 2002a)
- Superfosfato simple, con el 16 al 20 por ciento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> contiene adicionalmente 12% de azufre, que lo hace también un fertilizante simple. Una cantidad primordial de fosfato es aplicar en forma de fertilizantes NP (nitrofosfato, fosfato monoamónico (MAP) y fosfato diamónico (DAP)) y de fertilizantes NPK (FAO 2002).
- El cloruro potásico K<sub>2</sub>O, teniendo un 60%, es el fertilizante simple líder usado en la mayoría de los cultivos por tener un alto porcentaje del mismo. En cultivos sensibles al

cloro o en los cuales el azufre se necesita, Sin embargo, como con los fertilizantes fosfatados, una gran parte de K<sub>2</sub>O es aplicada en la forma de fertilizantes NPK y PK (FAO 2002).

### 2.3.7 *Materia orgánica (mulch)*

El término mulch corresponde a cualquier capa de restos vegetales que se forman naturalmente o son aplicados materiales sintéticos en la superficie del suelo. El "mulching" se traduce habitualmente como acolchado. Es una técnica que consiste en colocar materia de forma natural como paja, madera triturada, aserrín, cáscara de arroz, cubriendo el suelo (VANESSA 2015).

Ventajas de aplicar mulch:

- Ayuda a mantener el suelo húmedo
- Algunos tipos de mulch o abono 100% orgánico, pueden mejorar la fertilidad del suelo

**Mulch orgánico:** este tipo de mulch incluye astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de árboles, cáscaras de cacao, restos vegetales, hojas, mulch mixto y una gran variedad de productos de origen natural. Según (VANESSA 2015) menciona que el mulching también presenta efectos físicos, químicos y biológicos.

- **Efectos físicos**

Mantiene más húmedo el suelo favoreciendo el aumento del crecimiento de las raíces. A su vez, Reduce significativamente la evapotranspiración, disminuyendo la frecuencia de riego.

- **Efectos químicos**

Actúa liberando pequeñas cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas.

- **Efectos biológicos**

El mulch orgánico sirve como alimento para muchos microorganismos, mismo que teniendo una temperatura constante garantiza la actividad microbiana.

Los objetivos que se pretenden con la aplicación de mulch con respecto al suelo: Aumentan la cantidad de nutrientes del suelo y mejorar sus propiedades físicas y químicas.

## **2.4 Base legal**

### ***2.4.1 Norma de la calidad ambiental del recurso suelo***

Para los siguientes usos del suelo: agrícola, ganadero, forestal, urbano, minero, recreativo, de conservación, industrial, comercial y camaroneras, se aplica la siguiente norma sobre la calidad ambiental del recurso suelo. Para la prevención y control de la contaminación del suelo, donde se establecen los siguientes criterios: Prevenir y disminuir la generación de residuos sólidos municipales, industriales, comerciales y de servicios, incorporando nuevas técnicas de investigación que sean apropiadas y procedimientos para su minimización, reúso y reciclaje. Es necesario utilizar sistemas de agricultura que no degraden, contaminen o desequilibren el ecosistema del área geográfica en que se desenvuelven; esto incluye el uso racional y técnico de plaguicidas, fertilizantes simples, compuestos, orgánicos, químicos y sustancias tóxicas. En aquellos suelos que presenten contaminación, Se llevará a cabo las acciones necesarias para rescatar y restaurarlos por las condiciones iniciales, previas a la ejecución de un determinado proyecto de investigación donde se presenten nuevas técnicas de recuperación de suelo (Kosanke 2019).

### ***2.4.2 Norma de calidad ambiental del recurso agua***

La presente norma, deberá mantener un registro donde tenga descrito a los efluentes generados, indicando el caudal del efluente que se menciona, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de estos, identificando el cuerpo receptor contaminado.

Los lixiviados generados ya sea por propiedades de conductas, cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas de descargas fijadas considerando el criterio de calidad de acuerdo al uso del cuerpo receptor (MAE 2015).

### ***2.4.3 Ley de gestión ambiental***

Ley de Gestión Ambiental, Registro Oficial Suplemento No. 418, de fecha 10 de septiembre de 2004; artículo 9, fomenta la participación y colaboración integral entre sectores urbanos y rurales con el único objetivo de tramitar y emplear normas técnicas y parámetros de protección ambiental, mismo que serán aplicables en el ámbito nacional; Dentro del régimen normativo general aplicable al sistema de permisos y licencias de actividades potencialmente contaminantes, normas

aplicables a planes nacionales y normas técnicas relacionadas con el ordenamiento territorial, así como también de control relacionadas con la calidad del agua (Vlaykova y Sivrev 2004).

#### ***2.4.4 Ley orgánica de agro diversidad semillas y fomento de la agricultura sustentable***

Art. 102.- La fertilidad del suelo: Temas relacionados con la protección, recuperación de la fertilidad de la tierra rural, los productores de la Agricultura Sustentable deberán:

1. Utilizar un sistema de labranza apropiada, para mejorar el tipo y la calidad del suelo.
2. Uso adecuado de mecanización agrícola.
3. Manejo adecuado de las actividades de fertilización e irrigación, con el fin de evitar la salinización del suelo.
4. Uso de sistemas de riego adecuados para los cultivos y un apropiado tipo de suelo
5. Prácticas de labranza y cultivos que mantengan o incrementen la materia orgánica del suelo, refuercen la estabilidad y la biodiversidad edáficas, y prevengan la compactación y la erosión del suelo.
6. Hacer la rotación plurianual de cultivos o asociación de cultivos para el caso de abonos verdes y la aplicación de estiércol animal o materia orgánica (Asamblea Nacional del Ecuador 2008a).
7. Utilizar fertilizantes para el suelo que hayan sido autorizados para su producción sustentable. No utilizar fertilizantes minerales nitrogenados o fertilizantes químicos con frecuente alteración.
8. Utilizar preparaciones adecuadas de microorganismos para mejorar las condiciones generales del suelo o la disponibilidad de nutrientes en el suelo o en los cultivos.
9. No realizar prácticas de quema de material vegetal para la destrucción de residuos de cosecha producidos en la operación en el propio terreno.
10. Promover nuevas prácticas de conservación de suelos y ambiente diferenciadas para cada modelo de agricultura sustentable, establecidos por la Autoridad Agraria Nacional.
11. Generar proyectos y/o programas para garantizar la fertilidad y biodinámica del suelo mediante prácticas de conservación y evitar su erosión (Asamblea Nacional del Ecuador 2008).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Área de estudio

##### 3.1.1 Localización del estudio

El trabajo de titulación se llevó a cabo en el cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, con coordenadas Geográficas UTM WGS 84 17S, Latitud: -0.035944; Longitud: -79.364222, los límites geográficos: al norte con los cantones Quinindé y Puerto Quito, sur con la Parroquia San Jacinto del Búa, del cantón Santo Domingo y por otra parte, con la parroquia rural San Pedro de Suma, del cantón El Carmen, provincia de Manabí, Al este con la Parroquia Valle Hermoso, del cantón Santo Domingo y oeste con la Parroquia rural Chibunga, del cantón Chone, provincia de Manabí.



**Ilustración 3-1.** Área experimental.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

**Tabla 3-1:** Datos generales del cantón La Concordia

ASPECTOS HISTORICOS Y NATURALES	DATOS
Fecha de Creación	26 de noviembre de 2007
Población Proyectada INEC 2020	52,571 habitantes
Superficie	324,46 Km <sup>2</sup>
Altitud	240 a 315 msnm
Clima	Tropical Húmedo
Temperatura promedio	35-25.5°C
Humedad Relativa	88%
Precipitación	2000 a 3000 mm anuales

**Fuente:** INEC, 2015.

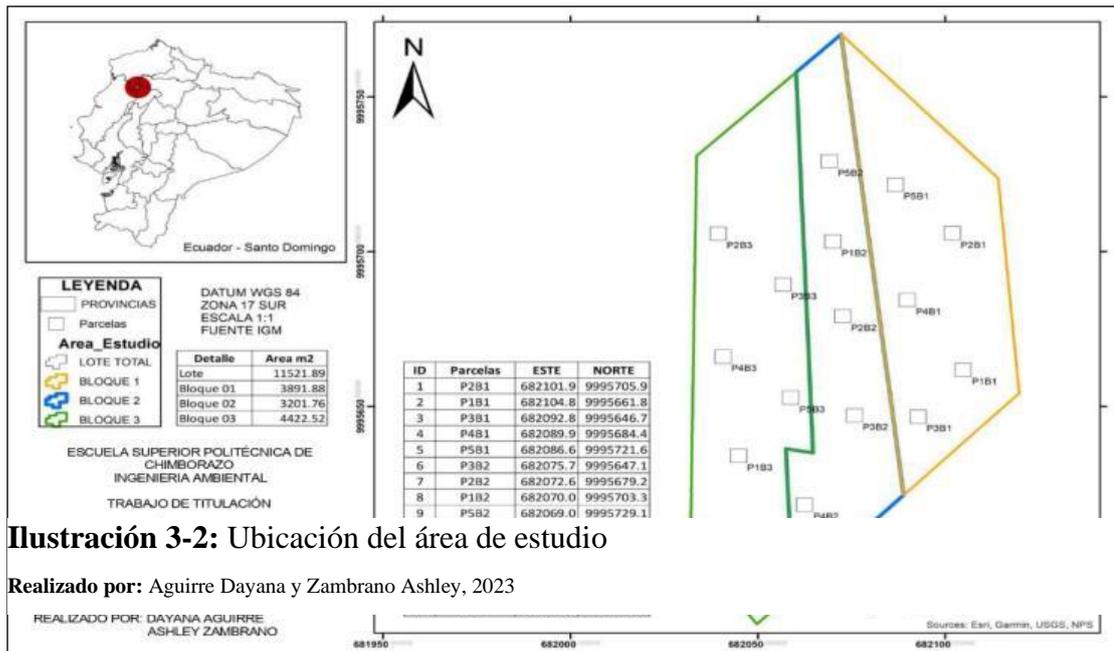
**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Mientras que para los análisis de laboratorio se realizó en las instalaciones educativas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo.

### 3.1.2 Geografía

El Cantón la Concordia, con su cabecera cantonal del mismo nombre, es el segundo cantón de la Provincia Tsáchilas, tiene una dimensión de: 325,00 km<sup>2</sup>.

Está situado en la parte noroccidental del país, las ciudades cercanas son Santo Domingo y



**Ilustración 3-2:** Ubicación del área de estudio

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

Quinindé. Está ubicado a 178 Km de distancia a Quito y es en el km 40 de la vía Santo Domingo – Quinindé. La avenida principal del Cantón se llama “Simón Plata Torres” y atraviesa la ciudad, constituyéndose en su principal eje vial urbano (Territorial y Alcalde 2023).

### 3.1.3 Tipo de ecología (ecosistema)

El cantón La Concordia se encuentra en una de las regiones con mayor biodiversidad del mundo. El área alberga más de 2000 especies de plantas, aproximadamente 450 especies de aves y una gran variedad de mamíferos y reptiles;

La Concordia incluye varias especies arbóreas excelentes, que corresponden, en cuanto al valor de la madera, a las siguientes familias: *Morácea*, *Lauréacea*, *Mimosacea*, *Melastomatácea* y *Sapotácea*, por otro lado la fauna se compone principalmente por la presencia de animales domésticos como: bovinos, porcinos, equinos y aves de corral (AME 2016).

### **3.1.4 Edafología (SIG de tierra)**

En la Concordia existe una clasificación de suelos que por su capacidad se rige para su utilización con fines agrícolas, lo que permite saber que los suelos del cantón en primer lugar se caracterizan por una capa húmifera. El 95% del territorio está dedicado a uso agrícola: palma africana, abacá, cacao, maracuyá, banano, piña, pimienta y palmito. Lo que a nivel cantonal el cultivo que más sobresale y que mayor superficie ocupa es el de palma africana seguido del banano y el abacá. Los centros poblados ocupan el 2.45% de la superficie Cantonal. El 0.94% del territorio está ocupado con bosque (cobertura natural) (Territorial y Alcalde 2023).

### **3.2 Enfoque de investigación**

Por su nivel de profundidad la investigación es exploratoria porque permite examinar los métodos para el análisis de lixiviación de macronutrientes (método de Kjendal, método espectrometría uv-visible, método espectroscopia de absorción atómica) y analizar los métodos para la caracterización de suelo inicial y final (método de Bouyoucos - Day), buscando de esa manera obtener una información completa en cuanto a sus resultados según los protocolos a seguir.

Además, el método de la investigación tiene un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) porque utiliza la recolección de datos con base en la medición numérica y el análisis estadístico con el fin de probar teorías. El objetivo de la aplicación de los métodos antes mencionados es obtener el porcentaje de macronutrientes tanto en suelo como en lixiviados; mientras que en la caracterización es obtener el porcentaje de limo, arcilla o arenoso.

Finalmente, según el periodo de tiempo en el que se lleva a cabo esta investigación es transversal porque los datos se recolectan en un momento único que es de octubre - noviembre, con la finalidad de describir, analizar las variables planteadas durante un corto lapso de tiempo.

### **3.3 Nivel de investigación**

Acorde al método de investigación realizado es de tipo mixta, teniendo un nivel descriptivo y comparativo en el cual consta de variables que se modifican estadísticamente teniendo en cuenta a su vez el propósito del proyecto, según la manipulación de las variables es experimental, debido a que es un proceso donde se aplica muestreo y análisis, el proyecto investigativo permite

determinar la caracterización física del suelo y el grado de lixiviación de fuentes simples N-P-K y de fertilizantes de fuentes de liberación controlada presentes en el zona de estudio en cultivos de palma aceitera; Cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo, según el tipo de inferencia es de tipo inductivo ya que se basa en la observación, experimentación, comparación y generalización de las variables, finalmente según el período temporal, es transversal dado que la investigación se dará en un periodo de tiempo determinado y permite observar varias variables a la vez (Hernández Sampieri et al. 2014).

### 3.4 Diseño de investigación

El diseño experimental que se utilizó es de tres bloques completos al azar, con cinco parcelas de diferentes tratamientos cada una. Por tratamiento se escogieron seis plantas como unidad experimental. Lo que nos dará un resultado de 45 muestras por bloque. Para obtener mejores resultados se trabajó con tres profundidades diferentes: 15, 30 y 45 cm respectivamente, obteniendo 135 muestras totales, que entre los dos monitoreos se completaron 270; cada monitoreo tuvo su tiempo respectivo en el que los tratamientos pudieran hacer efecto dado así la toma de muestras a los 15 y 45 días.

**Tabla 3-2:** Tipos de tratamientos aplicados.

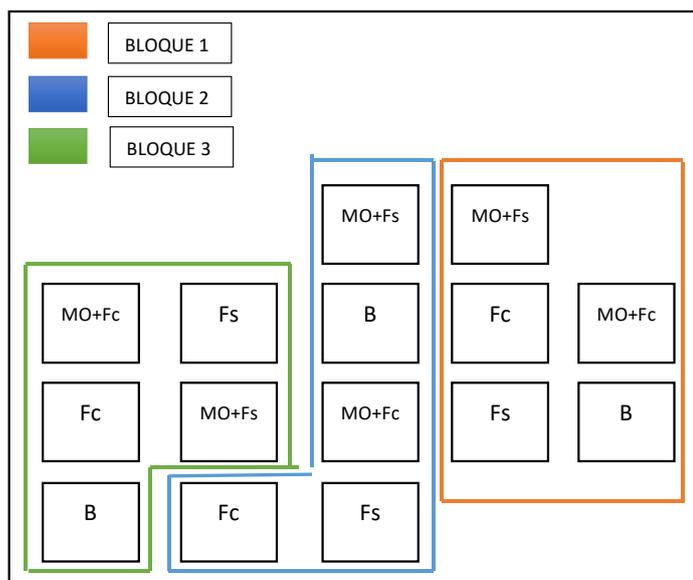
Nº	TRATAMIENTO
1	Testigo o Blanco
2	suelo + Fs N-P-K.
3	suelo + FLc.
4	Fs N-P-K + Materia Orgánica (mulch)
5	FLc + Materia Orgánica (mulch)

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Donde:

**Fs:** Fuentes Simple

**Fc:** Fuentes de Liberación Controlada.



**Ilustración 3-3:** Diseño de bloques

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

#### 3.4.1 Según la manipulación o no de la variable independiente

##### **Variables dependientes:**

- Contenido de N-P-K
- Porcentaje de N-P-K de lixiviado
- Grado de lixiviación

##### **Variables independientes:**

- Densidad aparente del suelo
- Precipitación diaria
- Profundidad del suelo

#### 3.5 Tipo de estudio

El tipo de estudio es experimental porque se recurrió a diversas fuentes bibliográficas para llevar a cabo la investigación, con el fin de refutar o no, la relevancia en la incidencia de los macroelementos provenientes de fertilizantes de liberación simple y de liberación controlada en cultivos de Palma africana.

### 3.6 Población de estudio

La población de estudio correspondería suelos agrícolas de las plantaciones de Palma Africana de la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA) del cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

#### 3.6.1 Tamaño de la muestra (cantidad de las muestras a trasladar de la ubicación)

En este tipo de investigación el número de muestras no es predictivo, ya que según el diseño de experimento del área en general se define por bloques, parcelas y unidades experimentales. También se conoce que en este análisis conlleva tres diferentes profundidades, que son 15, 30 y 45 cm respectivamente. La toma de muestras también es por dos tiempos diferentes a los 15 y 45 días teniendo así un total de 45 muestras por periodo dando un total de 90.

Mientras que para la obtención de las muestras de suelos iniciales obtuvimos un total de 9 muestras que son 3 por bloque, con una cantidad de 0,31kg de suelo, seguido de eso en las muestras de lixiviados obtuvimos un volumen promedio en 40 y 60mL, mientras que en el segundo monitoreo se obtuvo un volumen de 40 a 45mL.

**Tabla 3-3:** Diseño de la ubicación de los elementos en cada bloque y su respectivo tratamiento.

Tiempo	# de Bloques	División/ Bloques	Tratamientos	Profundidad	# de Muestras
15 días	Bloque 1	# Tratamientos: 5 # Parcelas: 5 #Unidades experimentales: 6	1. Blanco. 2. Fertilizante Simple. 3. Fert. Compuesto 4. MO + Fert. Simple 5. MO + Fert. Compuesto	15cm 30cm 45cm	45
	Bloque 2				
	Bloque 3				
45 días	Bloque 1	# Tratamientos: 5 # Parcelas: 5 #Unidades experimentales: 6	5. MO + Fert. Compuesto	15cm 30cm 45cm	45
	Bloque 2				
	Bloque 3				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### **3.6.2 Método de muestreo**

El método de muestreo es no probabilístico ya que es más útil para estudios exploratorios, y es considerado uno de los métodos menos estrictos ya que se lleva a cabo métodos de observación e investigación amplia. Lo ideal en proyectos de investigación, es que las muestras a analizar representen a la población. Pero, en algunas investigaciones, la población es demasiado grande como en este caso, que se cuenta con un número grande de parcelas para evaluar y considerar a toda la población. Es por ello por lo que se designaron los tres bloques con sus respectivas parcelas y poder ampliar las unidades experimentales definiendo seis por parcela, así la mejor opción fue este método debido a la velocidad, accesibilidad y efectividad de la disponibilidad de la muestra.

### **3.6.3 Técnicas de recolección de datos**

Tras una revisión bibliográfica se pudo concretar métodos y técnicas que se utilizarían para el presente trabajo de investigación, así mismo la indagación en instrumentos para la recolección de las muestras, permitió escoger la herramienta más acorde al objetivo del proyecto y técnica planteada.

#### **3.6.3.1 Método bouyoucos (textura)**

En 1961, George John Bouyoucos desarrolló el método que lleva su nombre, o como el método del hidrómetro, se basa en una técnica rápida y sencilla ya que no requiere pretratamiento de las muestras.

El tamaño de los sólidos en suspensión se estima a partir de la densidad del medio, que varía de medio a medio. Directamente relacionado con la cantidad de partículas presentes, correspondiente a la ley de Stokes, que incluye el hecho de que una partícula esférica sólida desciende a un medio líquido de menor densidad y velocidad uniforme debido a la igualación de las fuerzas intervinientes (gravedad y arrastre), y la velocidad es función del tamaño de las partículas. Por tanto, el análisis de sedimentación se basa en la relación que existe entre la velocidad de caída de una partícula y su diámetro. En un momento dado, las partículas más grandes se asentarán y solo las partículas más pequeñas permanecerán en suspensión. El método a utilizar es un hidrómetro Bouyoucos. El hidrómetro se calibra para determinar la densidad (g/L) de la suspensión en función de la cantidad de partículas que no han sedimentado (Andrades, Moliner y Masaguer 2015).

La metodología utilizada para el análisis de textura en suelos está respaldada por la norma ASTM-152H donde se explica el proceso paso a paso del método Bouyoucos (Rojas y Herrera 2016).

### **Procedimiento:**

- Secar la muestra de suelo al aire libre sobre un papel periódico.
- Tomar la muestra seca y disgregarla suavemente con los dedos o hacer uso de un mortero.
- Tamizar la muestra con el tamiz de 2mm de abertura.
- Pesar 50 gramos y colocar la muestra en un vaso de precipitación de 800mL.
- Adicionar 50mL de solución de Hexametáfosfato de Sodio 0,1 M y 100 mL de agua destilada y mantener en remojo por 24 horas. Agitar con una batidora eléctrica de mano por 5 minutos.
- Pasar el contenido a una probeta de 1L y enrasar con agua destilada. Homogenizar el contenido de la probeta y tener en cuenta el tiempo inicial ( $t=0$ ) esto indica el inicio de la sedimentación.
- En una probeta de 1000mL, preparar un blanco que consiste en 100 mL de solución de  $(\text{NaPO}_3)_6$  y 900mL de agua destilada.
- A partir del tiempo inicial, introducir el hidrómetro de manera cuidadosa en la probeta al paso de 1, 3, 10, 30, 60, 90, 360, 480 y 720 minutos.
- Por cada toma de lectura en la probeta de la suspensión inmediatamente introducir el hidrómetro en la probeta del blanco y tomar el dato correspondiente. Tomar la temperatura.
- Con todos los datos registrados a los tiempos establecidos, realizar los cálculos respectivos para obtener los porcentajes para arena, limo y arcilla.
- Determinar la clase textural en el triángulo de texturas según el USDA.

#### *3.6.3.2 Método macro – Kjeldahl*

Método Kjeldahl instrumento de determinación de nitrógeno en aguas residuales y suelos, método oficial descrito en varias normativas: AOAC, USEPA, ISO, Farmacopea y varias directivas comunitarias. En Ecuador es utilizado mediante la norma INEN-ISO 3188 específica para la medición extensiva de nitrógeno total en proteína o cualquier sustancia de estudio (INEN 2014), mientras que la norma ISO 14256 determina la metodología para nitratos, nitritos, etc. A su vez la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 995 en agua, determina el nitrógeno (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2015).

Este método se basa en una volumetría ácido-base.

## Digestión

- Pesar 1 g de muestra perfectamente molida y homogeneizada e introducirlo en un tubo de digestión. Añadir al tubo con muestra 5 g de catalizador Kjeldahl (1 pastillas), 10mL de ácido sulfúrico al 95-98%. Colocar los tubos de digestión con las muestras en el Bloc-digest con el colector de humos funcionando.
- Realizar la digestión a una temperatura de 400°C y un tiempo de 30 minutos. Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente.
- Dosificar lentamente 50 mL de agua destilada en cada tubo de muestra (con cuidado y dejando caer el agua lentamente por las paredes del tubo).
- Dejar enfriar la muestra a temperatura ambiente durante 5 minutos.

## Neutralización y digestión

- Agregue 25 ml de ácido bórico a un pistón Erlenmeyer de 250 ml y 2 o 3 gotas de indicador mixto.
- Coloque el Erlenmeyer en la alargadera del refrigerante observando de que esté sumergido en la solución de ácido bórico.
- Coloque la tubería con la muestra en el lado izquierdo del quemador.
- Tan pronto como el tubo de ensayo y el Erlenmeyer se colocan con el ácido bórico, dosis de aproximadamente 40 ml de NaOH (en el equipo la cantidad de NaOH) e inicie la destilación.
- La destilación debe extenderse suficientemente durante al menos 150 ml, lo que debe destilarse aproximadamente de 5 a 10 minutos.

## Valoración

Evaluar el destilado preservado con ácido clorhídrico 0.31n hasta que la solución cambie de verde a violeta (Zaragoza 2009).

### 3.6.3.3 Método de espectrofotometría UV VISIBLE

Según (Angel Ríos Castro, María Cruz Moreno Bondi 2012), mencionan que la espectrofotometría mide la energía radiante concentrada en una partícula de muestra de acuerdo a una longitud de onda específica ( $\lambda$ ); la región UV-Vis ocupa los 100 a 800 nm ( nm) , en otras palabras, puede determinar la distribución de electrones  $\pi$  en una molécula (Francis A. Carey 2018).

De acuerdo con la norma técnica ecuatoriana de calidad de agua INEN-ISO 15681-1, se constituye un método de análisis de flujo para la determinación de ortofosfato y fósforo total.

### **Procedimiento**

- A partir de la solución compuesta diluida, cuya absorción máxima se incluye en el rango de mediciones del espectrofotómetro, el valor de absorción se observará en diferentes longitudes de onda en el objetivo que contiene el disolvente de la solución a la muestra, que debe caracterizarse. El valor  $\lambda$  se obtendrá del espectro de absorción, en el que el compuesto representa la mayor absorción ( $\lambda_{max}$ ). Este  $\lambda$  se utilizará para crear definiciones cualitativas y cuantitativas del compuesto.
- Para obtener la conexión con la curva de conexión, se preparan soluciones de diferentes concentraciones de estas, determinando para cada uno de ellos el valor de absorción para  $\lambda_{max}$ . Estos valores de absorción se presentan en el eje abscisa (ejes x) y los valores de concentración en el eje de orden (eje y).
- Se observa que, a bajas concentraciones, un aumento en la concentración corresponde a un aumento lineal en la absorción (la zona de cumplimiento de la ley de Lambert-Bir).
- A altas concentraciones, se pierde la linealidad, y se observa que la línea está aplanada, por lo que las mediciones no son confiables (Díaz1 et al. 2017).

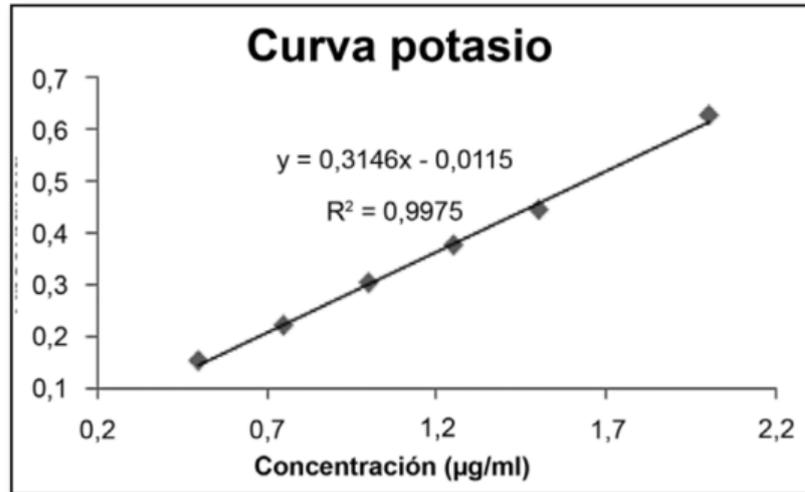
#### *3.6.3.4 Espectrometría absorción atómica*

Para la determinación de potasio se tomó como base la metodología descrita en la monografía del gluconato de potasio según la USP (por fotometría de llama) basado en la norma NTE INEN-ISO 10523 (Pérez-López y Esquivel-Arias 2018; NTE INEN-ISO 10523 2014).

### **Procedimiento**

- Validación de métodos: para la validación de la metodología se evaluó la linealidad, repetibilidad, precisión intermedia y exactitud.
- Linealidad: experimentalmente se prepararon tres curvas de calibración a partir de disoluciones madres independientes
- La linealidad del sistema se evaluó con curvas de calibración preparadas a partir de un patrón primario y para la linealidad del método la curva de calibración se preparó a partir de soluciones diluidas de muestras. Se determina el método presenta buena linealidad a partir del valor del coeficiente de correlación, el cual deberá ser mayor de 0,995.

- Para el potasio, se utilizó una solución estándar de potasio ( $C_n = 1000 \mu\text{g/mL}$ ) para preparar una solución madre de potasio a  $25 \mu\text{g/mL}$ . A partir de esta solución se preparó una curva de calibración conformada por 5 soluciones patrón con concentraciones entre  $0,5$  a  $1,5 \mu\text{g/mL}$ .



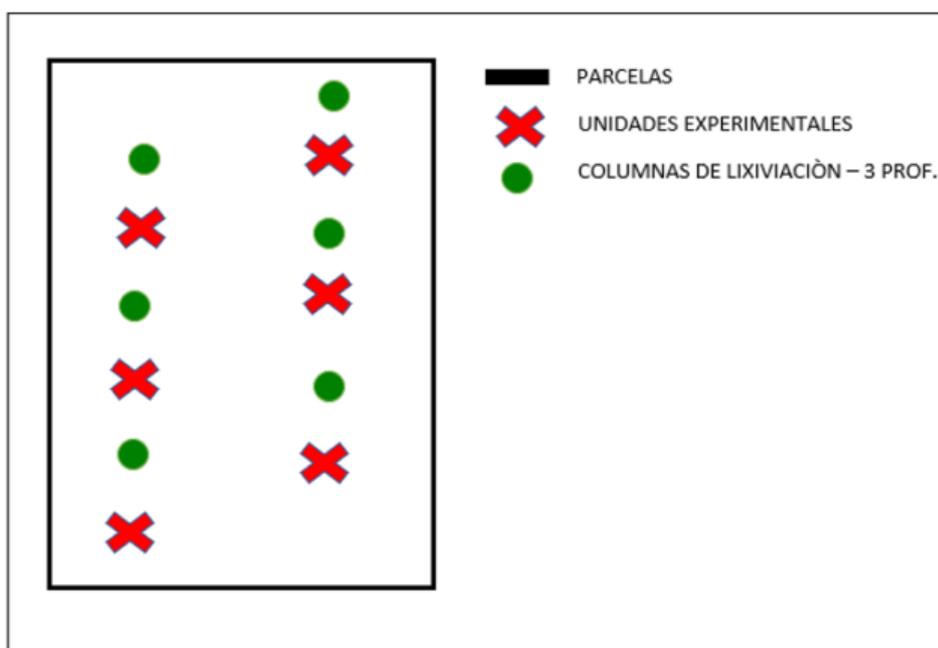
**Ilustración 3-4:** Curva de calibración para K.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### 3.7 Zona de estudio

#### 3.7.1 Puntos de muestreo

El punto de muestreo parte de una selección de miembros individuales lo que nos llevó a concretar 90 puntos de muestreo ya que según investigaciones y por datos de la asociación (ANCUPA) se determinó que los cultivos de palma aceitera tienen entre 10 a 15 años de antigüedad motivo por el cual se definió el área de estudio en parcelas cercanas a la edad más antigua de estos cultivos, además la geografía del lugar se mostró apto para la ejecución del experimento.



**Ilustración 3-5:** Diseño de unidades experimentales.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### 3.7.2 *Materiales*

#### 3.7.2.1 *Materiales de campo*

- Aros de Plástico de 8 pulgadas.
- Tubos de diferentes medidas: 15 cm = 15 unid; 30 cm = 15 unid; 45 cm = 15 unid.
- Libretas de campo.
- GPS.
- Botellas de agua de 350 mL.
- Marcadores.
- Fundas ziplot.
- Excavadoras.
- Palos de escoba.

#### 3.7.2.2 *Materiales y equipos de laboratorio*

- Espectrómetro de absorción atómica.
- Espectrofotómetro UV- Visible.
- Macro-Kjeldahl.

- Bomba de succión.
- Lisímetro de succión.
- Estufa.
- Pipetas de 10 mL y 20 mL.
- Vasos de precipitación de 10mL a 50 mL.
- Kitasato.
- Vidrio reloj.
- Embudo de porcelana.
- Probetas de 1000 mL y 25 mL.
- Centrifugadora.
- Bureta.
- Matraces.
- Tubos de ensayos.
- Morteros
- Tamiz de 2mm.

#### 3.7.2.3 *Reactivos y sustancias*

- Tartrato de potasio.
- Amonio molibdato.
- Carbón activado.
- Bicarbonato de sodio.
- Estándar de fosforo 1000 ppm.
- Ácido clorhídrico.
- Indicador mixto.
- Ácido bórico.
- Ácido sulfúrico.
- Sulfato de cobre.
- Sulfato de sodio.

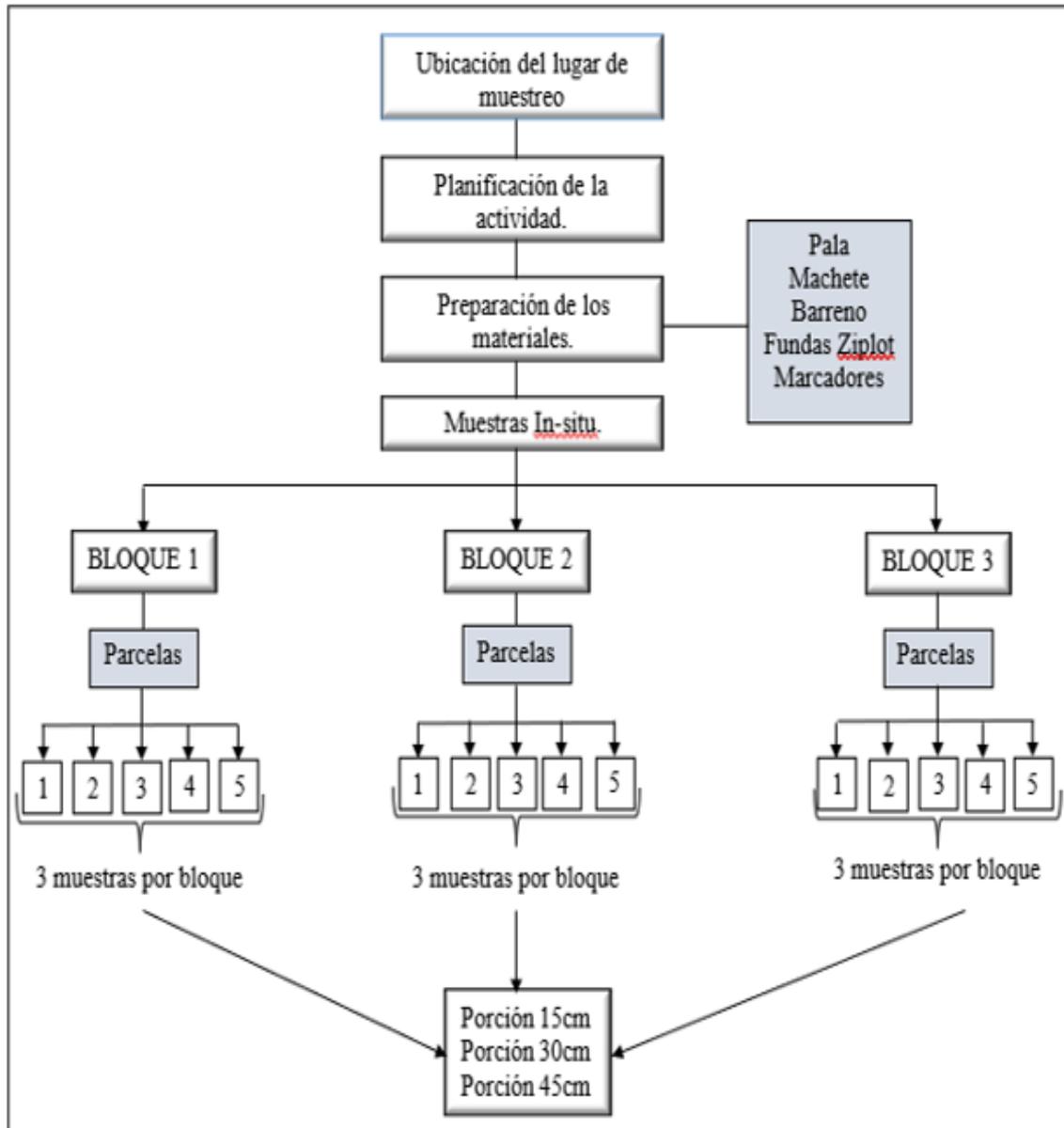
#### 3.7.2.4 *Fertilizantes*

- Mezcla Física 15 – 15 – 15.
- Yaramila Unik 16.

### 3.7.3 Datos de suelo

Datos preliminares del suelo a partir de la caracterización de este.

#### 3.7.3.1 Metodología para campo, suelo inicial



**Ilustración 3-6:** Metodología para campo, toma de muestras de suelo

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

### 3.7.3.2 Metodología descriptiva del suelo inicial

- Definir y limpiar el área de muestreo.
- Elegir los tres bloques, cinco parcelas y las seis unidades experimentales.
- En cada unidad experimental se puso tres tubos PVC de distintas profundidades: 15, 30 y 45 cm, con 1 pulgada de diámetro; estos fueron enterrados en el suelo de forma vertical y así sucesivamente con las demás unidades experimentales.
- Se tomo una muestra considerada por unidad experimental y por profundidad obteniendo nueve muestras homogenizadas (dando como resultado tres muestras por bloques 15, 30 y 45cm).
- Muestras que fueron destinadas a laboratorio para el análisis de pH, conductividad eléctrica, análisis de N-P-K y caracterización inicial del suelo.

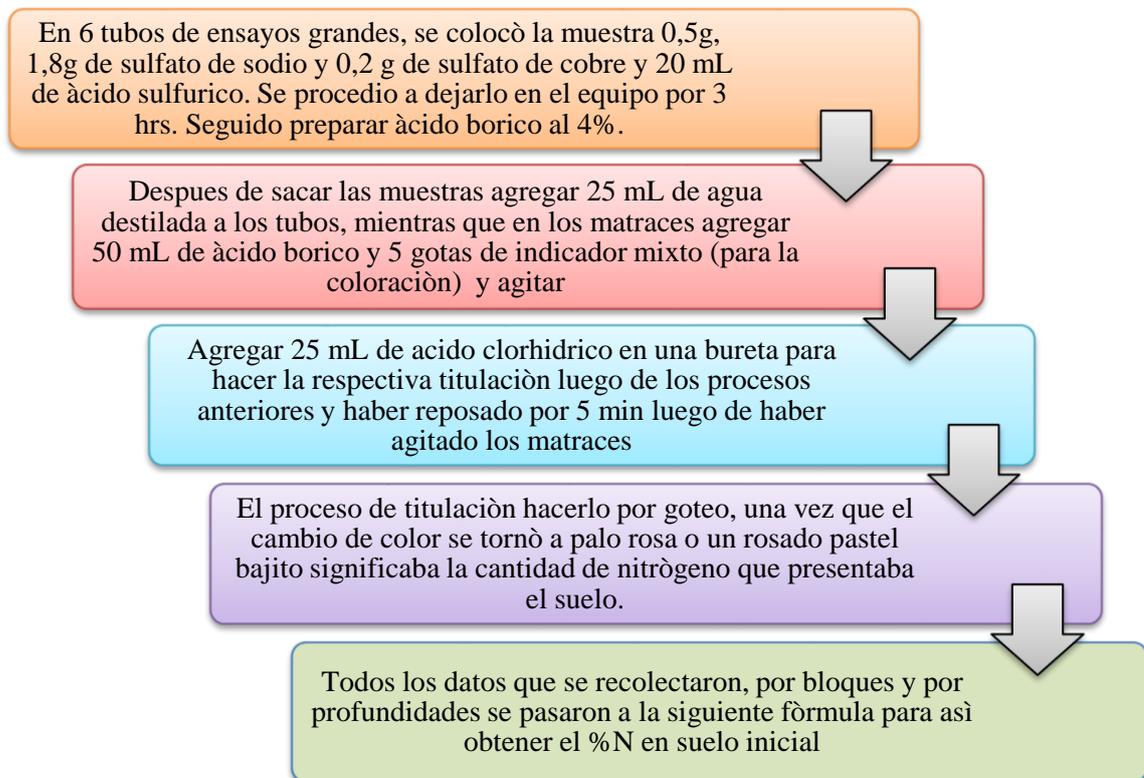


**Ilustración 3-7:** Submuestra extraída en laboratorio de las muestras de suelo

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

### 3.7.4 Metodología descriptiva de los análisis de laboratorio del suelo

#### 3.7.4.1 Método de macro – Kjeldahl para nitrógeno



**Ilustraciòn 3-8:** Metodología descriptiva para el análisis de Nitrógeno en suelo, utilizando el equipo Macro-Kjeldahl

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

#### Porcentaje de nitrógeno

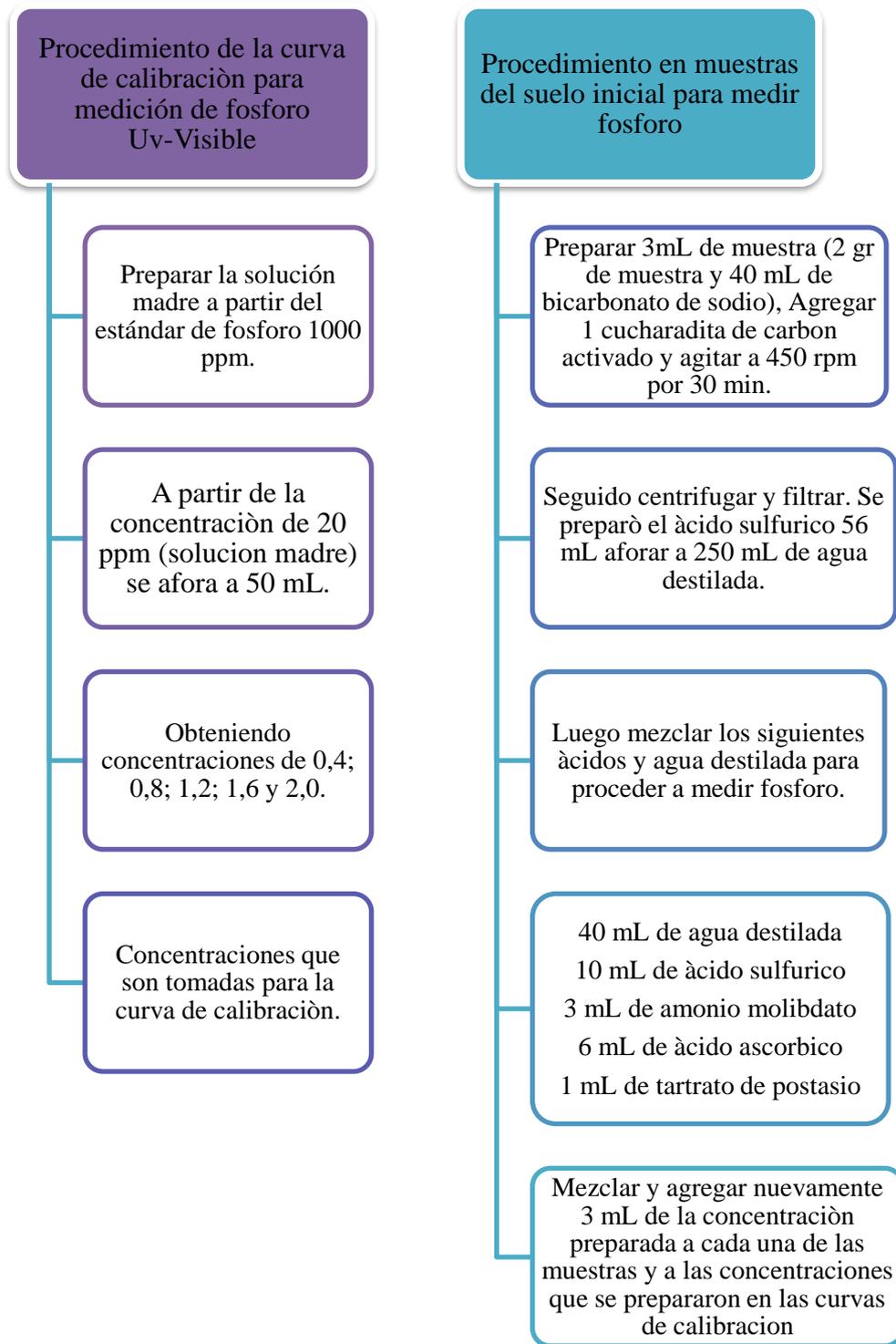
Fórmula 1:

$$\%N = \frac{(ml \text{ àcido valorante} - ml \text{ blanco}) * N \text{ del àcido} * 1,4007}{\text{peso de la muestra (gr)}}$$

**Donde:**

N= normalidad del ácido

3.7.4.2 Metodología por espectrofotómetro UV – Visible para fósforo



**Ilustración 3-9:** Metodología descriptiva para el análisis de Fósforo en el suelo, utilizando el Espectrofotómetro UV - Visible.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

Los datos que se obtuvieron en el equipo para la determinación de fósforo por el método de espectrofotometría Uv- Visible, fueron aplicados en la siguiente fórmula obteniendo el valor final en (mg/kg) de P:

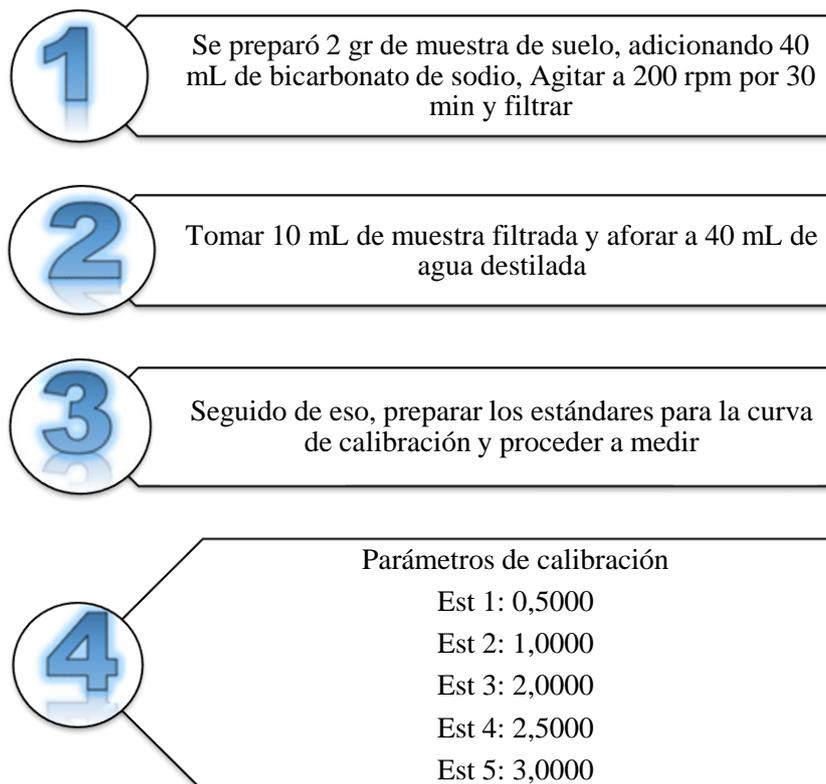
### Ecuación para obtener el fósforo total en muestras de suelo

#### Fórmula 2

$$P = \frac{\text{Valor de concentración (mg/l)} * 40 \text{ ml (Bicarbonato de sodio)}}{\text{peso de la muestra (2gr)}}$$

$$P = (\text{mg/kg})$$

#### 3.7.4.3 Metodología por espectrometría de absorción atómica para potasio



**Ilustración 3-10:** Metodología para el análisis de potasio en muestras de suelo, utilizando el espectrómetro de absorción atómica

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

Este método es uno de los más prácticos ya que para medir potasio no se necesita de reactivos adicionales, más que preparar los estándares y proceder a medir de una manera más rápida.

Para obtener los valores o el porcentaje de K, se lo deduce bajo la siguiente formula:

### **Ecuación para obtener el valor de Potasio en muestras de suelo.**

#### **Fórmula 3**

$$K = \frac{\text{Valor de concentración} * \text{volúmen (40 ml bicarbonato de sodio)}}{\text{peso (2 gr)}}$$

$$K = (mg/kg)$$

$$K = \frac{(mg/kg)}{390} = (meq/100 gr)$$

#### *3.7.4.4 Columnas de lixiviación – medida de infiltración*

- Con ayuda de 1 tubo PVC de 10 cm de diámetro y 3 m de alto, procedemos a dividir el tubo en 9 partes a diferentes medidas: 3 tubos de 15 cm, 3 de 30 cm y 3 de 45 cm.
- Cada uno de estos tubos será rellenado con el suelo de las muestras compuestas por bloque a las diferentes medidas.
- Buscar un lugar adecuado para que no haya movimiento de los tubos y colocar un recipiente en la parte inferior del mismo (realizar este paso con los demás ejemplares).
- Una vez que se haya colocado la cantidad suficiente del suelo, se añadirá un riego por goteo de 100 mL, el cual se debe tomar el tiempo para conocer la primera aparición de sustancia líquida en la base del tubo compactado con material.

#### *3.7.4.5 Simulación de lluvia*

Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios tormentosos naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos, la simulación de lluvias consiste en una operación donde se obtiene numerosos parámetros físicos de los suelos, útiles para orientar correctamente su manejo y conservación. Además, permite obtener más rápidamente estos

parámetros que bajo lluvias naturales, ya que se debe esperar a menudo más de 6 meses en las zonas secas.

- Según fuentes bibliográficas de la precipitación en el cantón la concordia la precipitación promedio anual es de 2000 a 3000 mm.
- Se consideró el registro anual de precipitación de cada zona, bajo condiciones naturales de 10mm en 1m<sup>2</sup> y a su vez el área del aro (plástico) quedando como resultado en unidades de mL.
- A través de un proceso matemático se pudo obtener el valor de 25 mL que debería caer sobre los tratamientos (fertilizantes) ubicados en las diferentes parcelas.
- Como herramienta de apoyo se utilizó dos regaderas pequeñas (medidas: 25cm de alto, 10 cm ancho y largo 15cm), se procedió a remojar la superficie del suelo + tratamiento, este proceso se realizó durante un periodo de 15 días para el primer monitoreo y a los 45 días para el segundo monitoreo.

#### 3.7.4.6 Registro de la simulación de lluvia

#### Registro de la simulación de lluvia

#### Fórmula 4

$$\begin{array}{ccc}
 10 \text{ mm} & & 1 \text{ m}^2 \\
 & \times & \\
 x & & 0,05 \text{ m}^2
 \end{array}$$

$$x = 0,50 \text{ mm} \rightarrow m$$

$$5 \times 10^{-4} m * 0,05 \text{ m}^2$$

$$2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \rightarrow L$$

$$0,25 \text{ l} \rightarrow \text{mL}$$

$$25 \text{ mL}$$

### 3.7.4.7 Aplicación de fertilizantes

La cantidad de fertilización se efectuó según las concentraciones de los elementos que contiene el fertilizante simple y el compuesto partiendo también del compost - mulch (Bio-Fert), el cual tiene una relación de C/N 18% considerado dentro del rango adecuado para su uso.

Además, se procedió un análisis geométrico donde se obtendría datos relevantes para la cantidad de abono, a continuación, con el uso de las siguientes formulas.

#### **Tronco**

#### **Fórmula 5**

$$d = \frac{c}{\pi}$$
$$A_{tronco} = \pi * (r)^2$$
$$A_{total} = \pi * (r)^2$$
$$A_{total-tronco}$$

#### **Aro**

#### **Fórmula 6**

$$A_{aro} = \pi * (r)^2$$

Una vez que se obtuvo el área que fueron 12,24m<sup>2</sup> lo que corresponde a 8kg, fue necesario saber la cantidad de fertilizante que se aplicó en el aro sabiendo que el aro tiene un área de 0,05m<sup>2</sup> haciendo de esa manera la relación:

#### **Fertilizante de mezcla física 15-15-15.**

Después de haber hecho la relación se consideró que la cantidad necesaria dentro del aro era de 33g lo que vendría a ser 4,95g de cada elemento.



**Ilustración 3-11:** Fertilizante de Mezcla Física.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### **Fertilizantes de liberación controlada Yaramila unik-16 (compuesto)**

Tras haber hecho una concordancia que a partir de los 4,95 g de cada elemento se hizo la relación con los datos del fertilizante obteniendo así 30,93g para el área del aro.



**Ilustración 3-12:** Fertilizante de Liberación Controlada - Yaramila Unik 16.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### **Compost Bio – Fert**

Según fuentes bibliográficas la materia orgánica es escasa en los suelos de cultivo, por lo que se procedió a colocar en el área una cantidad de 113g, cantidad que fue medida en una tarrina de 4oz.

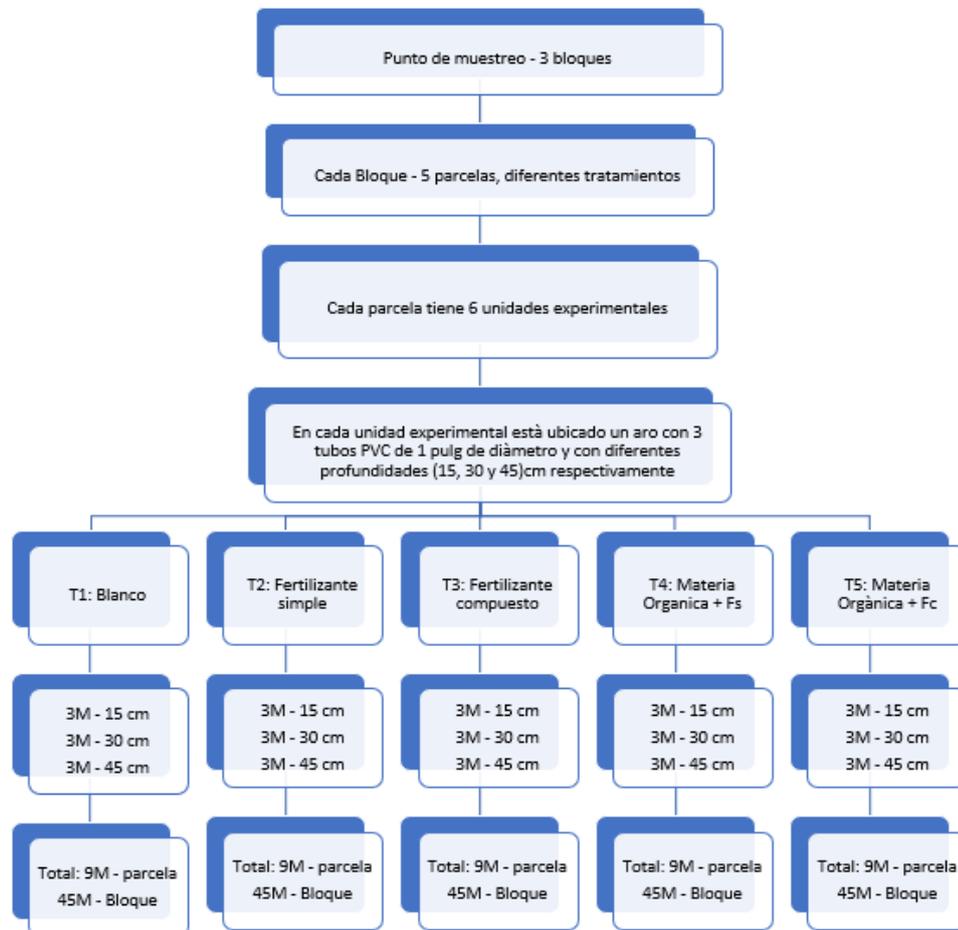
Recalcando que la materia orgánica se puede incorporar principalmente en altas cantidades, lo que convendría para el manejo de lixiviados.



**Ilustración 3-13:** Fertilizante + materia orgánica.

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### 3.7.5 Metodología para campo, lixiviados



**Ilustración 3-14:** Metodología para campo, toma de muestras en lixiviados.

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

### **3.7.6 Concentración N-P-K y fuentes de liberación controlada**

#### **Para muestra en suelo columna de lixiviación**

- Inicialmente se tomarán 9 muestras de las distintas profundidades (3 muestras por bloque y a profundidades de 15, 30 y 45 cm respectivamente), una parte de esta muestra se destinará a la evaluación de pH, CE y caracterización inicial del suelo.
- Mediante un tubo PVC de distintas medidas: 15, 30 y 45cm de largo con una pulgada de diámetro, serán colocados de forma vertical, enterrados en el suelo usando en la parte superior un tapón; se utilizará el lisímetro de succión para la toma de la muestra del lixiviado.
- Respecto a la toma de la muestra, Se lo hará a los 15 días de haber colocado los fertilizantes.

#### **Medición del grado de lixiviación**

- Las columnas de lixiviación se dividirán en una de suelo absoluto y otra de estudio por fertilizante simple y de liberación controlada
- La columna de suelo absoluto no se le adicionará ningún tipo de fertilizante, será el testigo.
- La alícuota de agua se calculará haciendo una relación entre los datos de precipitación diaria y la dimensión del tubo y la de la muestra de suelo.
- En las columnas para las muestras de estudio se empezará a poner los diferentes tratamientos
- Posteriormente se añadirá una cantidad medida de un tipo de fertilizante a base de N-P-K y fuente de liberación controlada, en base a los resultados de los análisis del suelo inicial
- Las columnas por tratamientos: fuente simple, fuente de liberación controlada, fuente simple más materia orgánica (mulch), fuentes de liberación controlada más materia orgánica (mulch)
- Se esperará 15 días a la toma de muestra para la lixiviación utilizando el equipo lisímetro de succión.
- Este procedimiento se repetirá a los 45 días de la lixiviación por la columna de suelo.
- Se irá tomando nota del avance en cuanto al volumen de precipitado generado en función al tiempo.

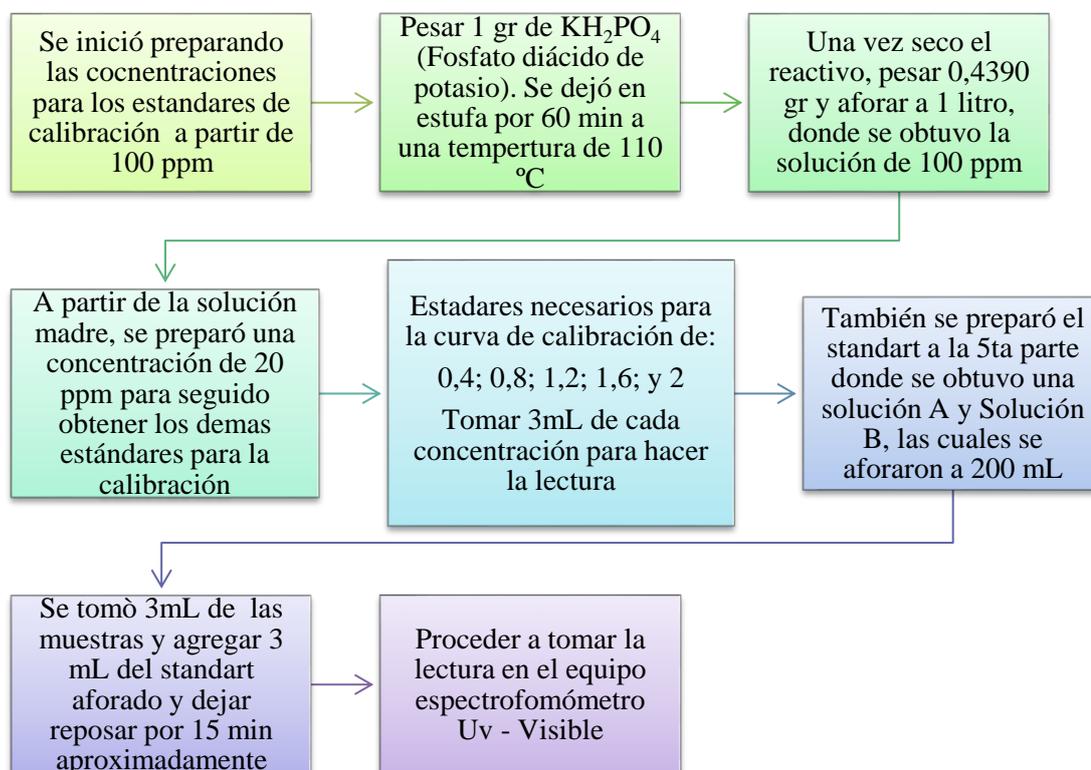


**Ilustración 3-15:** Extracción de lixiviados utilizando un lisímetro de succión.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

### 3.7.7 Procedimiento de N-P-K en el laboratorio

#### 3.7.7.1 Metodología de lixiviado para fosforo en laboratorio espectrofotómetro UV-Visible

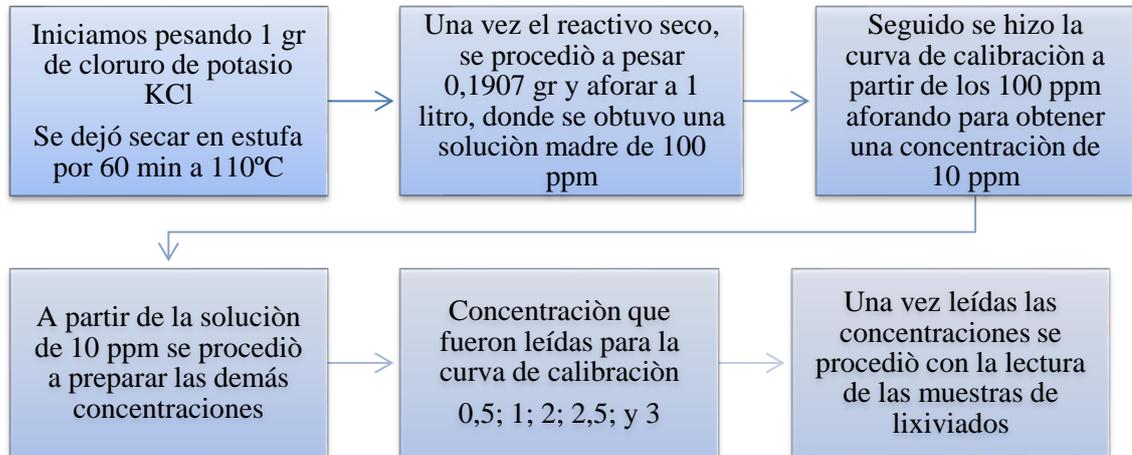


**Ilustración 3-16:** Metodología para análisis de fosforo en lixiviados.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### 3.7.7.2 Metodología de lixiviado para potasio en laboratorio

Espectrofotometría de absorción atómica



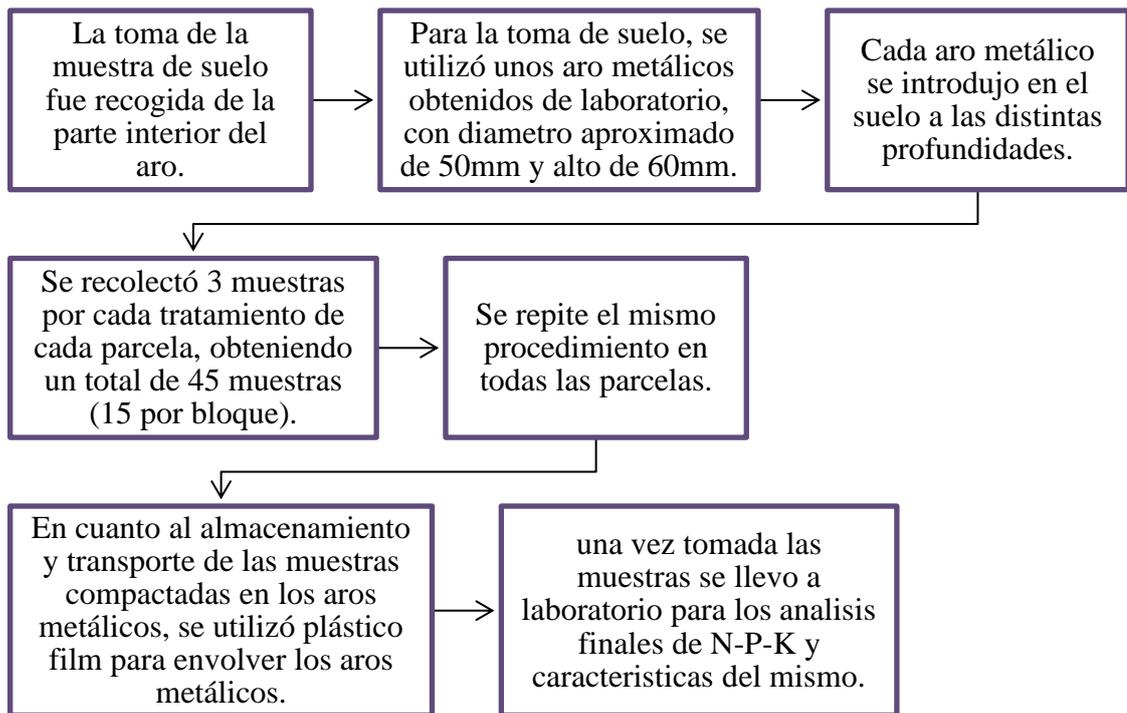
**Ilustración 3-17:** Metodología para análisis de potasio en lixiviados.

**Realizado por:** Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

### 3.7.8 Metodología para campo, suelo final

#### 3.7.8.1 Metodología descriptiva.

- Limpiar el área de muestreo.
- Preparar los materiales a utilizar.
- Rotular con los respectivos códigos los tubos metálicos y las fundas ziplot para el almacenamiento de la muestra.
- Ubicar las unidades experimentales y proceder a la toma de muestras



**Ilustración 3-18:** Metodología en campo para tomar muestras de suelo final

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### 3.7.9 Caracterización del suelo en laboratorio

#### 3.7.9.1 Densidad real (picnómetro)

- Pesar un picnómetro seco, seguido agregar 5g de suelo seco y pesar nuevamente.
- Adicionar agua destilada a la muestra en el picnómetro y homogenizar hasta dejar sin burbujas, seguir agregando agua destilada hasta que se llene.
- Pesar el picnómetro + la muestra + el agua.
- Remover todo el contenido del picnómetro y llenarlo completamente con agua destilada y pesar.

#### 3.7.9.2 Cálculo de la densidad real del suelo

##### Fórmula 7

$$Dr = \frac{Dw(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

**Donde:**

Dr= densidad real

Dw= densidad del agua

Ws= peso del picnómetro más el suelo

Wa= peso del picnómetro vacío

Wsw= peso del picnómetro + el suelo + agua

Ww= peso del picnómetro + agua

*3.7.9.3 Densidad aparente y humedad*

- La muestra que se obtuvo mediante compactada en el aro metálico se procedió a sacar el ph y CE
- Además, se pesó la muestra húmeda y se la dejó secar en una estufa por 24 horas a una temperatura de 105°C
- Pesarse el suelo seco y los datos fueron transmitidos a un Excel para obtener directamente los resultados.

*3.7.9.4 Textura – método de bouyocus*

- Secar la muestra de suelo al aire libre sobre un papel periódico.
- Tomar la muestra seca y disgregarla suavemente con los dedos o hacer uso de un mortero.
- Tamizar la muestra con el tamiz de 2mm de abertura.
- Pesarse 50 gramos y colocar la muestra en un vaso de precipitación de 800mL.
- Adicionar 50 mL de solución de Hexametáfosfato de Sodio 0,1 M y 100 mL de agua destilada y mantener en remojo por 24 horas. Agitar con una batidora eléctrica de mano por 5 minutos.
- Pasar el contenido a una probeta de 1L y enrasar con agua destilada. Utilizando una varilla metálica, homogenizar fuertemente toda la probeta y tomar el tiempo inicial (t=0) que indica el inicio de la sedimentación.
- En una probeta de 1000mL, preparar un blanco que consiste en 100 mL de solución de (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> y 900mL de agua destilada.
- A partir del tiempo inicial, introducir el hidrómetro de manera cuidadosa en la probeta al paso de dos tiempos, a los 5 minutos y después de 2 horas.
- Por cada toma de lectura en la probeta de la suspensión inmediatamente introducir el hidrómetro en la probeta del blanco y tomar el dato correspondiente. Tomar la temperatura.

- Con todos los datos registrados a los tiempos establecidos, realizar los cálculos respectivos para obtener los porcentajes para arena, limo y arcilla.
- Determinar la clase textural en el triángulo de texturas según el USDA.

### **3.7.10 Modelo estadístico**

La modelación estadística es una herramienta basada en las matemáticas y el análisis de datos que intenta representar la realidad mediante métodos estadísticos de los datos disponibles, utilizando el programa Excel, que nos permite trabajar con datos numéricos y textuales en tablas formadas por la unión de filas y columnas, donde permite analizar información, generar reportes, gráficos, tablas y el lenguaje de información altamente desarrollado de la oficina.

Donde se pudo corroborar con las tablas ANOVAS la probabilidad y si los resultados son significativos o no significativos, para lo cual al tratarse de un resultado significativo proceder a la prueba de Tukey donde se compara las medias individuales provenientes de un análisis estadístico de varianza de varias muestras compuestas a diferentes tratamientos.

#### **3.7.10.1 Análisis estadístico**

- Media
- Desviación estándar
- Análisis de TUKEY (para comparación múltiple)
- Análisis de varianza

## CAPÍTULO IV

### 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización del suelo inicial

**Tabla 4-1:** Estadística descriptiva de la caracterización del suelo inicial

ED	PROF.	PH	CE	DA	MO	N	P	K
MEDIA	15	6,71	118,41	0,61	6,73	0,44	24,41	0,36
	30	6,66	30,89	0,68	4,53	0,49	13,56	0,16
	45	6,00	128,32	0,62	5,53	0,45	20,64	0,23
ERROR	15	0,24	45,51	0,02	0,47	0,13	3,74	0,01
	30	0,15	5,03	0,04	0,50	0,05	4,11	0,02
	45	0,59	51,49	0,03	0,73	0,04	4,72	0,00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	15	0,42	78,82	0,04	0,81	0,22	6,48	0,01
	30	0,26	8,72	0,07	0,87	0,09	7,11	0,04
	45	1,02	89,18	0,06	1,27	0,07	8,18	0,01
VARIANZA	15	0,18	6212,27	0,00	0,66	0,05	41,95	0,00
	30	0,07	76,03	0,00	0,76	0,01	50,58	0,00
	45	1,04	7953,20	0,00	1,60	0,01	66,96	0,00
MAX	15	7,17	209,33	0,65	7,30	0,67	29,62	0,38
	30	6,96	40,87	0,75	5,50	0,56	21,66	0,19
	45	6,96	215,00	0,68	6,50	0,53	30,09	0,24
MIN	15	6,35	69,47	0,57	5,80	0,22	17,16	0,35
	30	6,48	24,73	0,61	3,80	0,39	8,34	0,12
	45	4,93	36,83	0,56	4,10	0,39	15,74	0,23

Realizado por: Aguirre Dayana y Ashley Zambrano, 2023.

En esta imagen se puede observar los resultados de los análisis sobre la caracterización y la fertilidad del suelo los cuales proporcionan información sobre los nutrientes disponibles para los cultivos, ya que no solo depende del nivel de estos, sino también de la disposición de cada suelo para hacerlos llegar a las plantas; es ahí donde se puede deducir que son similares entre las profundidades y bloques; mismos resultados que se expresan en unidades de meq/100gr para el K, en (mg/kg) o ppm para P y en porcentaje para nitrógeno.

Un dato importante como factor de caracterización es el pH, ya que basado en fuentes bibliográficas, la eficiencia de los fertilizantes va de acuerdo con el valor de este. Cuando un suelo tiene un nivel de pH bajo hacen que los fertilizantes sean poco eficientes, mientras que teniendo un pH de 6 a 7 (que es el resultado obtenido), va a haber un porcentaje de aprovechamiento considerado, teniendo en cuenta que también influye la textura del suelo para que pueda lixiviarse de una manera rápida y compleja o que a la vez sea lenta.

En el Bloque 1 y 2 la textura que predomina en las tres profundidades es un suelo Franco, mientras que en el Bloque 3 hay la presencia de un suelo Franco Limoso. Al considerarse la textura del suelo Franco, permite que exista una elevada productividad agrícola y adecuada retención de humedad. E ahí la importancia de hacer los análisis preliminares con el objetivo de conocer cómo se encuentra el estado del suelo, estimando que con esa información la lixiviación va a hacer mayor.

#### 4.2 Infiltración

**Tabla 4-2:** Datos obtenidos tras el proceso de infiltración

FERTILIZANTES	SIMPLE (15 días)	SIMPLE (45 días)	COMPUESTO (15 días)	COMPUESTO (45 días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)
BLOQUES	mm <sup>3</sup> /h	mm <sup>3</sup> /h	mm <sup>3</sup> /h	mm <sup>3</sup> /h		
1	520	750	291	416	15	10
2	375	479	347	4763		
3	277	437	277	4881		
1	277	451	260	375	30	
2	239	364	233	270		
3	347	472	208	3390		
1	183	279	178	2044	45	
2	166	246	241	2941		
3	250	2895	173	229		

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Se analizó la infiltración en diferentes profundidades con un mismo tipo de suelo obtenido de Ancupa - La Concordia, clasificado según su textura franca; y la duración en tiempos de 15 y 45 días, siendo de 24 h. el tiempo de simulación por día, con fertilizante simple y fertilizante

compuesto respectivamente calculando la cantidad de agua precipitada obteniendo valores reales como muestra la tabla. Los resultados obtenidos con la simulación de lluvia de 100 mL fueron satisfactoriamente, ya que la velocidad de infiltración permite estimar la penetración del agua en el suelo en función de la profundidad de 15, 30 y 45 cm; el fin de esta técnica es buscar una alternativa para ayudar a mejorar las condiciones del suelo en la agricultura.

#### 4.3 Resultados de los lixiviados del primer monitoreo a los 15 días, segundo monitoreo a los 45 días y suelo final

##### 4.3.1 Por bloques

**Tabla 4-3:** Datos obtenidos de los análisis de lixiviados del monitoreo.

<b>LIXIVIADO 1 MONITOREO</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TRAT</b>	<b>PROF</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
1	1	15	0,030	0,125	7,768
1	1	30	0,030	0,166	9,069
1	1	45	0,035	0,172	5,644
1	2	15	0,048	5,361	49,843
1	2	30	0,044	6,376	50,221
1	2	45	0,045	5,096	36,045
1	3	15	0,056	3,406	28,525
1	3	30	0,030	2,969	28,858
1	3	45	0,030	3,463	14,276
1	4	15	0,054	3,929	21,208
1	4	30	0,050	4,131	21,168
1	4	45	0,047	3,322	21,013
1	5	15	0,032	5,018	66,926
1	5	30	0,030	4,400	26,495
1	5	45	0,029	1,501	34,232
2	1	15	0,020	0,679	6,620
2	1	30	0,020	1,099	12,164
2	1	45	0,030	0,506	3,964
2	2	15	0,040	3,724	23,521

2	2	30	0,030	3,815	20,793
2	2	45	0,030	3,760	18,219
2	3	15	0,060	4,610	36,164
2	3	30	0,020	4,142	35,833
2	3	45	0,030	3,110	24,505
2	4	15	0,040	4,062	14,561
2	4	30	0,040	2,577	15,272
2	4	45	0,020	2,784	17,624
2	5	15	0,030	4,988	14,561
2	5	30	0,030	4,529	15,272
2	5	45	0,020	2,261	17,624
3	1	15	0,031	0,154	6,928
3	1	30	0,015	0,288	4,973
3	1	45	0,015	0,000	8,289
3	2	15	0,043	3,877	20,242
3	2	30	0,043	4,068	20,793
3	2	45	0,032	4,125	34,563
3	3	15	0,061	3,040	15,171
3	3	30	0,040	3,277	12,018
3	3	45	0,041	1,837	10,565
3	4	15	0,044	0,878	7,895
3	4	30	0,046	1,675	14,214
3	4	45	0,040	0,398	8,152
3	5	15	0,028	5,702	28,367
3	5	30	0,030	4,690	36,045
3	5	45	0,028	3,798	17,650

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

**Tabla 4-4:** Datos obtenidos de los análisis de lixiviados en el monitoreo 2 (45 días)

<b>LIXIVIADO 2 MONITOREO</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TRAT</b>	<b>PROF</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
1	1	15	0,020	0,918	9,655
1	1	30	0,026	1,296	8,935
1	1	45	0,020	1,369	8,799
1	2	15	0,033	7,069	16,528
1	2	30	0,030	8,036	16,488
1	2	45	0,031	5,897	14,283
1	3	15	0,017	2,793	9,957
1	3	30	0,017	2,472	8,734
1	3	45	0,018	1,691	12,048
1	4	15	0,025	1,167	11,880
1	4	30	0,020	1,419	10,700
1	4	45	0,021	1,587	12,989
1	5	15	0,020	2,653	13,037
1	5	30	0,020	4,551	25,263
1	5	45	0,020	3,387	19,548
2	1	15	0,018	0,188	7,248
2	1	30	0,019	0,443	10,674
2	1	45	0,020	0,112	6,165
2	2	15	0,030	2,611	15,359
2	2	30	0,032	2,941	16,328
2	2	45	0,030	2,621	16,394
2	3	15	0,024	2,095	14,386
2	3	30	0,023	0,974	12,195
2	3	45	0,023	1,202	13,562
2	4	15	0,028	0,921	12,600
2	4	30	0,028	1,011	14,747
2	4	45	0,027	0,638	10,795
2	5	15	0,030	1,673	21,540
2	5	30	0,025	1,645	18,891
2	5	45	0,020	1,708	16,926

3	1	15	0,030	0,000	8,729
3	1	30	0,020	0,140	11,588
3	1	45	0,020	0,000	8,738
3	2	15	0,020	0,522	15,211
3	2	30	0,030	0,646	14,517
3	2	45	0,040	0,395	13,130
3	3	15	0,020	1,061	13,519
3	3	30	0,020	1,115	15,052
3	3	45	0,020	0,712	16,344
3	4	15	0,030	0,756	17,051
3	4	30	0,020	0,398	16,590
3	4	45	0,020	0,194	13,192
3	5	15	0,030	1,188	13,959
3	5	30	0,020	3,136	21,574
3	5	45	0,020	1,876	16,058

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

**Tabla 4-5:** Datos obtenidos de los análisis de suelo final

<b>SUELO FINAL</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TRAT</b>	<b>PROF</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
1	1	15	0,980	0,248	15,507
1	1	30	1,260	0,338	11,311
1	1	45	0,700	0,596	22,889
1	2	15	1,120	0,982	20,173
1	2	30	1,260	1,618	16,623
1	2	45	1,680	1,485	15,706
1	3	15	0,840	1,069	33,807
1	3	30	0,700	1,381	20,800
1	3	45	0,560	1,292	20,558
1	4	15	1,120	1,705	27,425
1	4	30	1,400	1,624	11,941
1	4	45	0,840	1,247	9,563
1	5	15	1,540	2,000	25,203

1	5	30	0,980	1,318	20,444
1	5	45	1,680	1,333	16,599
2	1	15	1,000	1,874	12,962
2	1	30	1,300	2,000	9,453
2	1	45	1,000	1,690	12,522
2	2	15	1,200	1,535	34,253
2	2	30	1,180	1,607	8,878
2	2	45	1,700	1,586	20,069
2	3	15	0,860	1,963	35,401
2	3	30	0,710	1,999	29,647
2	3	45	0,500	2,097	26,644
2	4	15	1,150	1,725	28,264
2	4	30	1,380	1,645	17,250
2	4	45	1,100	1,476	19,014
2	5	15	1,580	2,124	106,727
2	5	30	1,230	2,344	42,348
2	5	45	1,660	2,281	47,619
3	1	15	1,260	1,375	17,882
3	1	30	0,900	1,375	13,577
3	1	45	0,880	1,259	15,342
3	2	15	1,270	1,975	102,420
3	2	30	0,960	2,549	67,788
3	2	45	0,670	2,266	61,389
3	3	15	0,920	2,159	50,658
3	3	30	1,020	2,347	44,015
3	3	45	0,900	2,046	20,478
3	4	15	1,300	2,043	42,164
3	4	30	1,000	2,219	39,182
3	4	45	1,570	2,599	55,246
3	5	15	1,460	2,543	92,328
3	5	30	1,090	2,448	73,154
3	5	45	1,490	2,445	51,822

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

#### 4.4 Resultados de los lixiviados en función de los bloques

##### 4.4.1 Lixiviado 1

#### Análisis de varianza – nitrógeno

**Tabla 4-6:** Análisis de varianza nitrógeno - lixiviado 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0006	2,0000	0,0003	2,3308	0,1097	3,2199
Dentro de los grupos	0,0051	42,0000	0,0001			
Total	0,0057	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En este primer análisis que corresponde al elemento del Nitrógeno indica que el valor de P es mayor a 0,05 lo que significa que no tiene diferencia significativa en función de los bloques es decir que no varía de bloque en bloque, estadísticamente la lixiviación de este elemento se comporta igual en las tres superficies.

#### Análisis de varianza - fósforo

**Tabla 4-7:** Análisis de Varianza fosforo - lixiviado 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4,9137	2,0000	2,4569	0,7724	0,4683	3,2199
Dentro de los grupos	133,5922	42,0000	3,1808			
Total	138,5059	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

Al igual que el anterior análisis, el fósforo no presenta diferencia significativa entre bloques debido a que el valor de P al ser 0,4683 mayor que 0,05; hace mención a que la lixiviación del fósforo es similar en los tres bloques.

## Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-8:** Análisis de varianza potasio - lixiviado 1.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1169,6071	2,0000	584,8035	3,6681	0,0340	3,2199
Dentro de los grupos	6695,9610	42,0000	159,4276			
Total	7865,5681	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey - Potasio

	B1	B2	B3
B1		9,64	11,70
B2			2,06
B3			

$$\text{HSD} = 11,0844743$$

En el caso del Potasio si hay diferencia significativa por tanto el potasio se lixivia de forma diferente en los 3 bloques y en este caso es necesario aplicar la prueba de tukey para saber en qué bloques se encontró la diferencia.

Obteniendo así que existe la diferencia entre el bloque 1 y el bloque 3.

#### 4.4.2 Lixiviado 2

## Análisis de varianza - nitrógeno

**Tabla 4-9:** Análisis de varianza nitrógeno - lixiviados 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,000051	2,000000	0,000025	0,872149	0,425486	3,219942
Dentro de los grupos	0,001227	42,000000	0,000029			
Total	0,001278	44,000000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023

Para el análisis del Nitrógeno en el segundo monitoreo a los 45 días, se encontró que no hay diferencias significativas entre los tres bloques, lo que indica que estadísticamente los valores obtenidos son similares denotando que la lixiviación en los bloques se da por igual.

### Análisis de varianza - fósforo

**Tabla 4-10:** Análisis de varianza - fósforo - lixiviación 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	42,0757	2,0000	21,0379	9,4623	0,0004	3,2199
Dentro de los grupos	93,3801	42,0000	2,2233			
Total	135,4558	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey – Fósforo

	B1	B2	B3
B1		1,70	2,28
B2			0,58
B3			

HSD=	1,30898866
------	------------

La probabilidad de fosforo es muy baja, y cuando esté valor es bajo quiere decir que más grande es la diferencia, este valor experimentalmente difiere mucho en el análisis de lixiviación. Habiendo doble diferencia significativa entre los bloques 1 y 2; y también en el bloque 1 y 3. Especialmente estos pares de bloques son los que más difieren para el fósforo. Cuando el valor es menor que el HSD, quiere decir que en el análisis de varianza no aporta, porque hay mayor similitud.

## Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-11:** Análisis de varianza potasio - lixiviación 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8,9999	2,0000	4,4999	0,2770	0,7594	3,2199
Dentro de los grupos	682,2908	42,0000	16,2450			
Total	691,2907	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el caso del análisis del Potasio en el lixiviado 2 pasan cosas similares, lo que quiere decir que no hay diferencia significativa, siendo los datos estadísticamente semejantes, lo cual da a entender que no hay diferencia entre los bloques, comportándose de la misma manera.

### 4.4.3 Suelo final

## Análisis de varianza – nitrógeno

**Tabla 4-12:** Análisis de varianza nitrógeno final.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0341	2,0000	0,0170	0,1651	0,8484	3,2199
Dentro de los grupos	4,3332	42,0000	0,1032			
Total	4,3672	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Para los análisis del suelo final, en el Nitrógeno podemos notar que en la tabla 12-4 al tener una probabilidad mayor que el establecido (0,05) recalca que la similitud entre los tres bloques es la misma, no tiene variedad al momento de lixiviar, lo que en este caso tampoco influye la textura del suelo.

### Análisis de varianza – fósforo

**Tabla 4-13:** Análisis de varianza fosforo - suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6,3971	2,0000	3,1986	18,3388	0,000001885	3,2199
Dentro de los grupos	7,3254	42,0000	0,1744			
Total	13,7226	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey - Fósforo

	B1	B2	B3
B1		-0,65	-0,89
B2			-0,25
B3			

HSD= 0,36662798

En este caso existen signos negativos, pero al comparar con el HSD pasan a ser datos absolutos. La diferencia significativa está dada en parejas de bloques; 1 y 2 y el bloque 1 y 3, siendo estos bloques los que más difieren.

### Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-14:** Análisis de varianza potasio-suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7218,7076	2,0000	3609,3538	7,9619	0,0012	3,2199
Dentro de los grupos	19039,8467	42,0000	453,3297			
Total	26258,5543	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey - Potasio

	B1	B2	B3
B1		-10,83	-30,59
B2			-19,76
B3			

HSD=	18,6913369
------	------------

Cuando el valor absoluto es menor al HSD quiere decir que son los bloques que más difieren, por eso hay una mayor diferencia entre los bloques 1 y 3 y el bloque 2 y 3 Predominando en estos resultados el bloque 3 cómo mayores diferencia.

## 4.5 Resultados de los lixiviados en función de la profundidad o tratamiento

### 4.5.1 Lixiviado 1

#### Análisis de varianza – nitrógeno

**Tabla 4-15:** Análisis de varianza nitrógeno - lixiviación 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0008	2,0000	0,0004	3,4113	0,0424	3,2199
Dentro de los grupos	0,0049	42,0000	0,0001			
Total	0,0057	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey - Nitrógeno

	P-15	P-30	P-45
P-15		0.008	0.010
P-30			0.002
P-45			

HSD=	0,00949
------	---------

Existen diferencias significativas por profundidad y tratamiento, el nitrógeno sí varía por la profundidad ya que existe diferencia entre A (15 cm) y C (45 cm), por lo tanto, se deduce que en los tratamientos hay similitud. Siendo las profundidades lo que presenta mayor diferencia.

### Análisis de varianza – fósforo

**Tabla 4-16:** Análisis de varianza fosforo - lixiviación 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7,3000	2,0000	3,6500	1,1674	0,3211	3,2199
Dentro de los grupos	131,3133	42,0000	3,1265			
Total	138,6133	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el análisis del Fósforo no hubo diferencia significativa entre las profundidades ni en los tratamientos lo que significa que la lixiviación es similar tanto en profundidad como en tratamiento.

### Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-17:** Análisis de varianza potasio - lixiviación 1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	192,7606	2,0000	96,3803	0,5309	0,5920	3,2199
Dentro de los grupos	7624,4832	42,0000	181,5353			
Total	7817,2438	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el análisis del Potasio tampoco hay diferencia significativa, hay una similitud en los datos, dando a conocer que no existe diferente entre las profundidades y tratamientos.

#### 4.5.2 Lixiviado 2

##### Análisis de varianza – nitrógeno

**Tabla 4-18:** análisis de varianza nitrógeno- lixiviación 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,000021111	2,0000	0,000010556	0,3471	0,7088	3,2199
Dentro de los grupos	0,001277333	42,0000	0,000030413			
Total	0,001298444	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el análisis del Nitrógeno no hay diferencia significativa, hay una similitud en los datos, dando a conocer que no existe diferencia entre profundidad y tratamiento.

##### Análisis de varianza – fósforo

**Tabla 4-19:** análisis de varianza fosforo - lixiviación 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,7096	2,0000	0,8548	0,2659	0,7678	3,2199
Dentro de los grupos	135,0179	42,0000	3,2147			
Total	136,7275	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

El análisis de Fósforo no presenta diferencia significativa, es decir que hay una similitud en los datos obtenidos, refiriéndose a que hay semejanzas entre tratamiento y profundidades.

##### Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-20:** Análisis de varianza potasio - lixiviación 2

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	22,5170	2,0000	11,2585	0,7071	0,4989	3,2199
Dentro de los grupos	668,7736	42,0000	15,9232			
Total	691,2907	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Para el análisis de Potasio se observa que no hay diferencia significativa, denotando que el valor de P es mayor, lo que quiere decir que la lixiviación es similar en profundidad y tratamiento.

#### 4.5.3 Suelo final

#### Análisis de varianza – nitrógeno

**Tabla 4-21:** Análisis de varianza nitrógeno - suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0506	2,0000	0,0253	0,2460	0,7830	3,2199
Dentro de los grupos	4,3167	42,0000	0,1028			
Total	4,3672	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el análisis del Nitrógeno no hay diferencia significativa, más bien podemos notar que con el dato de P hay una similitud entre profundidades y tratamientos.

#### Análisis de varianza - fósforo

**Tabla 4-22:** Análisis de varianza fosforo - suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,0802	2,0000	0,0401	0,1235	0,8842	3,2199
Dentro de los grupos	13,6423	42,0000	0,3248			
Total	13,7226	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

Para el análisis de Fósforo no presenta una diferencia significativa, denotando una similitud en los datos lo que corresponde a que no hay distinción entre profundidades y tratamientos

## Análisis de varianza – potasio

**Tabla 4-23:** Análisis de varianza potasio - suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	37,9372	2,0000	18,9686	0,9897	0,3802	3,2199
Dentro de los grupos	804,9447	42,0000	19,1653			
Total	842,8819	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

En el análisis de Potasio, al presentar un valor de P (0,38) es mayor que el (0,05) lo que indica que no hay diferencia significativa en las profundidades y tampoco influye en los diferentes tratamientos.

## Análisis de varianza – humedad

**Tabla 4-24:** Análisis de varianza humedad - suelo final

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	98,9412	2,0000	49,4706	7,0002	0,0024	3,2199
Dentro de los grupos	296,8170	42,0000	7,0671			
Total	395,7582	44,0000				

Realizado por: Aguirre Dayana y Zambrano Ashley, 2023.

### Prueba de Tukey

	P-15	P-30	P-45
P-15		-2,119	-3,614
P-30			-1,495
P-45			

HSD= 2,3

En el caso del análisis de varianza de la humedad – suelo final, si hay una diferencia significativa por lo que se deduce que la humedad en 15 cm no va a ser la misma que en 30 cm o 45 cm respectivamente. Habiendo una diferencia significativa entre la profundidad de 15cm y 45 cm.

## CONCLUSIONES

Uno de los aportes más relevantes que se lograron en esta investigación es la caracterización del suelo inicial, ya que en suelos agrícolas del cantón La Concordia, se determinaron las condiciones reales del mismo. La caracterización física se hizo sobre las mismas muestras del terreno analizado que al ser un suelo franco lo cual influye de gran manera en la lixiviación de fertilizantes. Como evaluación final, también se puede decir que el buen manejo de la agricultura origina condiciones ambientales más favorables y que el suelo tenga una buena fertilidad.

De acuerdo con la velocidad infiltración con la práctica realizada a diferentes profundidades y diferentes tipos de fertilizantes se puede concluir que la infiltración varía según la textura del suelo, en donde predomina un suelo franco, existe una menor compactación por lo tanto el agua se infiltrará rápidamente. Es por ello que en la profundidad de 15 cm se pueda observar el primer goteo en tan solo pocos días sin importar el tipo de tratamiento que estaba analizando, para el fertilizante simple fue de 520 mm<sup>3</sup>/h, mientras que el fertilizante compuesto fue de 347 mm<sup>3</sup>/h en el primero monitoreo de los 15 días.

Se estima que existe una mayor lixiviación entre el suelo más el fertilizante simple y entre el suelo más el fertilizante compuesto. Concluyendo que referente a los resultados obtenidos hubo similitud en esos dos tratamientos. Sin importar el bloque o la profundidad ya que, por la estructura y textura del suelo, no se encontraron diferencias en las variables.

Los valores de N – P – K que se obtuvieron de los bloques fueron; N=0,039%; P= 3,296 mg/l; K=28,086 mg/l en función al tiempo de los 15 días. Mientras que a los 45 días fueron N=0,025%; P=3,087 mg/L; K=14,350 mg/L.

Cabe recalcar que estos fertilizantes promueven el desarrollo vegetal pero el mismo tiempo genera carga de contaminación al momento que se lixivía provocando una afectación al suelo y agua subterránea.

Se estima que según las cantidades de N – P – K en lixiviados con materia orgánica, cumplió un rol muy importante en esta investigación, el contenido es, por lo general, más elevado en los suelos que se manejan orgánicamente. Es por eso que los resultados son los siguientes

N= 0,039% P=4,467 mg/l K=30,471 mg/l (FLc+M.O.) mientras que N=0,029% P=4,099 mg/l K=28,575 mg/l (Fs+M.O.) en función a los 15 días. La materia orgánica sirvió como una superficie esponjosa, reteniendo la composición de los elementos para que la planta pueda adherirlos, y disminuir la cantidad de lixiviación.

## **RECOMENDACIONES**

Promover el uso de abonos orgánicos en los sistemas de producción agrícola, con el fin de garantizar una producción más sustentable y poder preservar el manejo de los suelos, teniendo un equilibrio en relación sociedad y naturaleza.

Para el uso de fertilizantes es recomendable partir de un análisis preliminar, obteniendo datos que se puedan calcular para los demás fertilizantes, En el caso del N es uno de los elementos primordiales que se debe analizar ya que de allí se parte hacia los elementos como el P y el K. Considerando también las condiciones climáticas e interpretación correcta de los valores de laboratorio, Por lo que si hay una alteración puede afectar el sentido que se le dé a los resultados de los mismos análisis.

Realizar investigaciones semejantes que lleven la misma composición N-P-K, utilizando especialmente fertilizantes edáficos para evaluar la efectividad del mismo en cultivos tradicionales como cultivos de lechuga, hortalizas, cacao, plataneras, etc.

Se recomienda a nivel mundial que se aplique un tipo de capa orgánica en el suelo del cultivo ya sea casero o de tipo comercial. Con el fin de que se obtenga mejores resultados para la planta respecto a su desarrollo y producción; promoviendo menor transporte de los elementos a lo largo de la estructura del suelo evitando que la contaminación por lixiviados llegue a las aguas subterráneas, ampliando de esa manera el problema. Considerando que lo que se mentaliza es evitar justamente eso, La contaminación a aguas subterráneas.

## **GLOSARIO**

**Fertilizante Simple:** Los fertilizantes simples consisten en que sólo contiene un fertilizante principal (o sólo nitrógeno o sólo fósforo o sólo potasio), o cuando se presenta en mezcla física hay tres elementos en un paquete.

**Fertilizante Compuesto:** Los fertilizantes compuestos son aquellos que contienen al menos dos de los nutrientes básicos principales (nitrógeno, fósforo y potasio) y también son fertilizantes que pueden tener los tres elementos en un solo prills y son de liberación lenta.

**Nitrógeno:** se utiliza para favorecer el crecimiento de las plantas, aumentar el área foliar y favorecer la activación de las células encargadas de las fotosíntesis.

**Fósforo:** Este elemento participa principalmente en los procesos de fosforilación, fotosíntesis, respiración y en la síntesis y la descomposición de los carbohidratos, proteínas y grasas de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGRÓN, C., 2015.** Fertilidad química. Fertilización mineral: N-P-K. , pp. 1-44.

**AME, 2016. FLORA Y FAUNA.** [en línea]. [Consulta: 29 diciembre 2022]. Disponible en: <http://www.laconcordia.gob.ec/laconcordia/index.php/la-ciudad/geografia/flora-y-fauna>.

**ANDRADES, M., MOLINER, A. y MASAGUER, A., 2015.** Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos. *Material didáctico. Agricultura y alimentación* [en línea], vol. 15, no. 7, pp. 57. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/164ufndCBeOH9t0d16\\_8F2354izKHcaU8/view](https://drive.google.com/file/d/164ufndCBeOH9t0d16_8F2354izKHcaU8/view).

**ANGEL RÍOS CASTRO, MARÍA CRUZ MORENO BONDI, B.M.S.S., 2012.** Espectroscopia de absorción molecular uv-visible. *Dialnet* [en línea], vol. 1, no. 978-84-995893-0-5, pp. 225-286. DOI <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4870906>. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4870906>.

**ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR, 2008.** Constitución de la República del Ecuador. *Iusrectusecart*, no. 449, pp. 1-219.

**BARCELONA, U.A. de, 2017.** Las plantaciones de palma aceitera provocan la infertilidad de los suelos tropicales - Universitat Autònoma de Barcelona - UAB Barcelona. *UAB* [en línea]. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia/las-plantaciones-de-palma-aceitera-provocan-la-infertilidad-de-los-suelos-tropicales-1345667994339.html?noticiaid=1345727879056>.

**BENIMELI, M., PLASENCIA, A., CORBELLA, R.D., ANDINA GUEVARA, D., SANZANO, A., SOSA, F.A. y FERNÁNDEZ DE ULLIVARI, J., 2019.** El nitrógeno del suelo. *Cátedra de Edafología. Universidad Nacional de Tucumán* [en línea], pp. 3. Disponible en: <https://www.edafologia.org/app/download/7953478176/El+nitrogeno+del+suelo+2019.pdf?t=1563476239>.

**BRUNDTLAND, G.H., 1987.** Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de las Naciones, Recolección de un ...* [en línea], pp. 416. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>.

**BULA, A.O., 2020.** Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico. *Puente Académico*, no. 16, pp. 1-29. ISSN 2683-9067.

**DELGADO, R. y SALAS, A.M., 2016.** Consideraciones para el desarrollo de un sistema integral de evaluación y manejo de la fertilidad del suelo y aplicación de fertilizantes para una agricultura sustentable en Venezuela. *Agronomía Tropical* [en línea], vol. 56, no. 3, pp. 289-323. [Consulta: 18 abril 2023]. ISSN 0002-192X. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2006000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**DÍAZI, N.A., RUIZI, J.A.B., REYESI, E.F., CEJUDO1, A.G., NOVO1, J.J., PEINADO1, J.P., MELÉNDEZ-VALDÉS1, F.T. y ISAAC TÚNEZ FIÑANA2, 2017.** Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *SAE Technical Papers*, vol. 1, pp. 1-8. ISSN 26883627. DOI 10.4271/841496.

**DIRECCIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (DICTA), 2016.** *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789292486631. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0188461117300481?token=DFAF8CF6F2F3BB297F616A6180FA404057812F1AD922AD584AB56EC26FFBBF9C06002BA981A288F411E5CF1EF749CF62>.

**FAO, F., 2002.** Los fertilizantes y su uso. *Programa de Fertilizantes de la FAO* [en línea], vol. 4, pp. 1-83. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>.

**FERNÁNDEZ, M.T., 2017.** Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA : Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, vol. 41, no. 2, pp. 51-57. ISSN 1025-3076.

**FRANCIS A. CAREY, R.M.G., 2018.** *Química orgánica*. S.l.: s.n. ISBN 9786071512109.

**GONZALEZ, H., SADEGHIAN, S. y ARIAS, E., 2015.** *Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera Prácticas que ayudan a reducirla*. S.l.: s.n. ISBN 9789588490168.

**GONZÁLEZ, P., 2019.** Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. *Asesoría Técnica Parlamentaria* [en línea], pp. 1-5. Disponible en: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias\\_ambientales\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_fertilizantes.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf).

**GUITAN, U., 2008.** Disponibilidad de macro-nutrientes en el suelo. , vol. 26, no. 1, pp. 243-254.

**HAYATSU, M., TAGO, K. y SAITO, M., 2018.** Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 54, no. 1, pp. 33-45. ISSN 00380768. DOI 10.1111/j.1747-0765.2007.00195.x.

**INEN, 2014.** ALMIDONES, FÉCULAS Y PRODUCTOS DERIVADOS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN NITRÓGENO POR EL MÉTODO DE KJELDAHL. MÉTODO TITRIMÉTRICO (ISO 3188:1978, IDT). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, vol. 1, pp. 1-5.

**INFOAGRO, 2016.** El cultivo de la palma africana. *AGRI nova Science* [en línea]. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: [https://infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma\\_africana\\_aceitera\\_coroto\\_de\\_guinea\\_aabora.htm](https://infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm).

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, E., 2015.** Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 1204 Aguas. Determinación Del Nitrógeno Orgánico. , pp. 1-9.

**JIMÉNEZ, D.M.V., 2015.** UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Carrera de Ingeniería Agronómica CONTROLADA PARA EL PRIMER AÑO EN PALMA ACEITERA HÍBRIDA ( *Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis* ). DIEGO MAURICIO VILLEGAS JIMÉNEZ QUITO-ECUADOR. *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Carrera de Ingeniería Agronómica* [en línea], vol. 1, pp. 1-98. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4803/1/T-UCE-0004-34.pdf>.

**KLOTZ, M.G. y STEIN, L.Y., 2018.** Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle. *FEMS Microbiology Letters*, vol. 278, no. 2, pp. 146-156. ISSN 03781097. DOI 10.1111/j.1574-6968.2007.00970.x.

**KOSANKE, R.M., 2019.** NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS. *Ministerio del Ambiente* [en línea], vol. 1, pp. 1-22. Disponible en: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO 2 SUELO.pdf>.

**LEAL, F.P., 2017.** NUTRICION MINERAL. *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 1689-1699. ISSN 1098-6596. Disponible en: [https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance Notebook 2.6 Smoke.pdf](https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance_Notebook_2.6_Smoke.pdf).

**LI, H., NIAN, J., FANG, S., GUO, M., HUANG, X., ZHANG, F., WANG, Q., ZHANG, J., BAI, J., DONG, G., XIN, P., XIE, X., CHEN, F., WANG, G., WANG, Y., QIAN, Q., ZUO, J., CHU, J. y MA, X., 2022.** Regulation of nitrogen starvation responses by the alarmone (p)ppGpp in rice. *Journal of Genetics and Genomics*, ISSN 1673-8527. DOI 10.1016/J.JGG.2022.02.006.

**M., F.M., 2018.** Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas* [en línea], vol. 19, no. especial, pp. 218-228. ISSN 0121-2923. Disponible en: <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/667>.

**MAE, 2015.** Revision Del Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al **Recurso Agua**. *Registro Oficial No. 387* [en línea], no. 97, pp. 1-40. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>.

**MARÍN MORALES, J.G., 1978.** El potasio del suelo. [en línea], pp. 19 paginas. or 155-137. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22387>.

**MARJAN KLUEPFEL, B.L., 2016.** Cambiando el pH del Suelo | Centro de información de hogar y jardín. *Home & Garden Information Center* [en línea]. [Consulta: 18 abril 2023]. Disponible en: <https://hgic.clemson.edu/factsheet/cambiando-el-ph-del-suelo/>.

**MÁTYÁS1, B., DANIEL A. LOWY1, 2, SINGLA3, A., Y, J.R.M. y SÁNDOR, Z., 2020.** COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS EJERCIDOS POR LOS BIOFERTILIZANTES, LOS FERTILIZANTES NPK Y LOS MÉTODOS DE CULTIVO SOBRE LA RESPIRACIÓN DEL SUELO EN EL SUELO DE CHERNOZEM. *La Granja* [en línea], vol. 32, no. 2, pp. 8-18. Disponible en: <http://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.01>.

**MENGEL, K. y KIRKBY, E., 2000.** Principios de Nutricion Vegetal. *Instituto Internacional de la Potasa* [en línea], no. 1, pp. 11-23. Disponible en: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS)

DE NUTRICIÓN VEGETAL.pdf.

**NTE INEN-ISO 10523, 2014.** Nte Inen-Iso 10523 Calidad Del Agua Determinación Del Ph. 2014 [en línea], pp. 1-21. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/10523-UNIDO-EX.pdf>.

**OLIVA, C.V., 2017.** PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD DERIVADOS DEL USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS. [en línea], vol. 1, pp. 20. Disponible en: <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/CRISTINA VEGA OLIVA.pdf>.

**ONU, 2022.** Fertilizantes Sobre El Salud Y Formas De Reducirlos Índice. *ONU-PROGRAMA PARA EL AMBIENTE* [en línea], vol. 5, pp. 1-26. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF\\_Sp.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf).

**ORÚS PUEYO, F., 2019.** Coordinación: Fernando Orús Pueyo (Centro de Técnicas Agrarias). *Guía de actualización de la fertilización nitrogenada*, ISSN 1137/1730.

**PDYOTLC, 2013.** Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial. ,

**PERDOMO, CARLOS, HERNANDEZ, B., 2010.** Potasio Conceptos generales. *FAGRO* [en línea], vol. 1, pp. 62. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/Potasio.pdf>.

**PERDOMO, C. y M.B., 2016.** Área de suelos y aguas cátedra de fertilidad. *UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA* [en línea], vol. 1, pp. 74. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo N.pdf>.

**PÉREZ-LÓPEZ, E. y ESQUIVEL-ARIAS, R., 2018.** Adecuación de metodologías para análisis de sodio y potasio por espectroscopía de absorción atómica, en sales de rehidratación oral. *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 31, no. 2, pp. 40. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v31i2.3623.

**RAHMAN, Z., 2020.** El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*, Jacq.) Producción en suelos tropicales. *Palmas*, vol. 31, no. Especial, pp. 205-2018.

**ROJAS, A.Y. y HERRERA, E.J., 2016.** Determinación De Textura Por El Método De Bouyucos Método Del Hidrómetro Estandarizado Según Norma Astm-152H. [en línea], no. 3, pp. 2-5. Disponible en: [https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACIÓN\\_DE\\_TEXTURA\\_POR\\_EL\\_MÉTO](https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACIÓN_DE_TEXTURA_POR_EL_MÉTO)

DO\_DE\_BOUYUCOS\_MÉTODO\_DEL\_HIDRÓMETRO\_ESTANDARIZADO\_SEGÚN\_NORMA\_ASTM\_152H.

**SÁNCHEZ, J., 2007.** Fertilidad del suelo y nutrición mineral en plantas -Conceptos Básicos. *Fertitec S.A.* [en línea], pp. 19. Disponible en: [http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD DEL SUELO Y NUTRICION.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD_DEL_SUELO_Y_NUTRICION.pdf).

**TERRITORIAL, O. y ALCALDE, A., 2023.** La Concordia 30. ,

**THURTELL, C.W.-R.& G.W., 2016.** Nitrous oxide emissions from agricultural fields during winter and spring thaw as affected by management practices. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 103, no. 3, pp. 239-248. ISSN 00138703. DOI 10.1023/A.

**UBIDIA, M., 2017.** EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN CONTROLADA (CRF) EN EL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *Itálica*). , vol. 1, pp. 82.

**VANESSA, F.J., 2015.** EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DEL MULCH NATURAL, MAÍZ (*Zea mays* L.), CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.), VICIA (*Vicia sativa* L.), Y AVENA (*Avena sativa* L.) SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL BRÓCOLI (*Brassica oleracea* L.) EN EL CAMPUS QUEROCHACA, FACULTAD DE CIENC. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., pp. 1-81.

**VIOLIC, A.D., 2018.** EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción. *FAO* [en línea]. [Consulta: 19 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s22.htm>.

**VLAYKOVA, T. y SIVREV, D., 2004.** LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION. *Bulgarian Medicine*, vol. 6, no. 7-8, pp. 53-55. ISSN 08619883.

**ZARAGOZA, U. de, 2009.** Práctica 4: análisis de proteínas 1. *Universidad de Zaragoza*, vol. 5, pp. 1-5.



## ANEXOS

### ANEXO A: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO Y UBICACIÓN DE LOS MATERIALES NECESARIOS PARA EL EXPERIMENTO.

	
<p>a) Reconocimiento de la zona.</p>	<p>b) Distancia de 2 m entre planta – aro.</p>
	
<p>c) Puesta de tubos PVC para el lixiviado</p>	<p>d) Colocación de fertilizantes simple, compuesto y materia orgánica.</p>

**ANEXO B: OBTENCION DE LAS MUESTRAS Y ANALISIS DE LABORATORIO.**



a) Obtención de las primeras muestras de lixiviados con ayuda del Ing. Wladimir Bravo.



b) Obtención de muestras del lixiviado 2 a los 45 días.



c) Muestras de suelo final.



d) Análisis de laboratorio en suelo final.



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
<b>Nombres – Apellidos:</b> Dayana Michell Aguirre Calero Ashley Yamilett Zambrano Ganchozo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1534-DBRA-UPT-2023

