



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL  
AMBIENTE**

**Maestría en Manejo y Conservación de los  
Recursos Naturales Renovables**

Trabajo de tesis

**Plan de fertilización del área agrícola,  
unidad de experimentación y validación el  
plantel, 2021**

Autor:

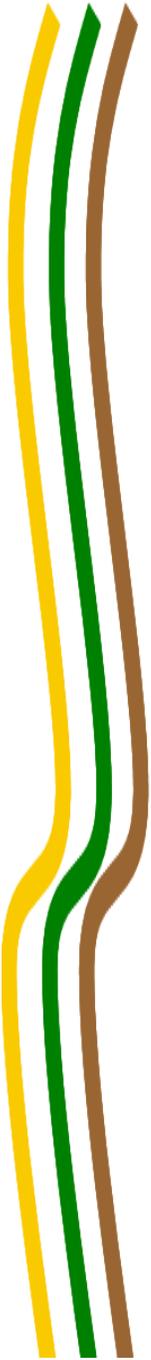
Ing. Luis Alberto Hernández

Asesor:

Ing. MSc. Gerardo U. Murillo M.

Managua, Nicaragua

Marzo, 2022





“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL  
AMBIENTE**

*Trabajo de tesis*

*Para Optar al Grado de Maestro en Ciencias en Manejo y Conservación de  
Recursos Naturales Renovables*

**Plan de fertilización del área agrícola,  
unidad de experimentación y validación el  
plantel, 2021**

Autor:

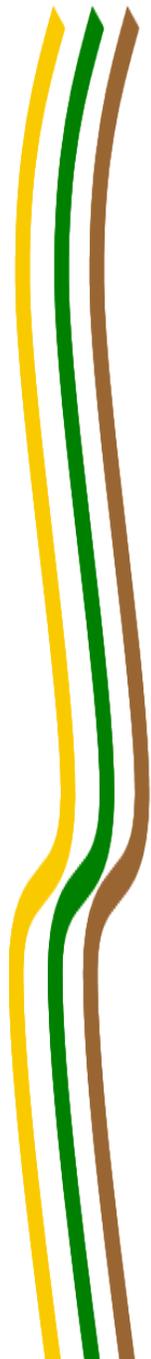
Ing. Luis Alberto Hernández

Asesor:

Ing. MSc. Gerardo U. Murillo M.

Managua, Nicaragua

Marzo, 2022



Miembros del Honorable Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al título profesional de **Maestro en Ciencia en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renovables.**

Miembros del Honorable Comité Evaluador

---

Grado académico y nombre del  
Presidente

Grado académico y nombre del  
Secretario

---

Grado académico y nombre del  
Vocal

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_



## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo de investigación a mi madre Juana González Bravo y mi padre Héctor Samuel Hernández (q.e.p.d) los dos, por todo el apoyo que me brindaron en su momento para salir adelante en mis estudios y como persona.

A mis hijos Luis, Jennifer, a mis nietos Darling, Yubelka, Harold, Kennet, y a mi bisnieta Dalisha Samara Hernández y decirles que nunca es tardes para aprender algo y ser alguien en la vida. Y en especial a mi esposa Martha. R. Ruiz Rivas, por el apoyo desmesurado que me brindan.

Ingeniero

Luis Alberto Hernández

## **AGRADECIMIENTO**

**Primeramente, a Dios**, por darme la oportunidad de llegar a culminar una etapa más en mi vida profesional, a mi familia por su apoyo, y en especial a mi esposa Martha R. Ruiz Rivas.

**A las autoridades de la UNA**, por darme la oportunidad de finalizar mi maestría.

**A mi asesor y amigo**, Gerardo Murillo Malespín por su valioso aporte para dirigir el asesoramiento en este trabajo,

**A mis compañeros de trabajo**, Ingeniero Claudio González (calerito), Ingeniero Rodolfo Munguía, por el apoyo que me brindaron.

Ingeniero

Luis Alberto Hernández

## Contenido

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo General: .....	4
2.2. Objetivos Específicos:.....	4
<b>III. MARCO DE REFERENCIAS .....</b>	<b>5</b>
3.1 Suelos .....	5
3.2 Aptitud de los suelos del Plantel. ....	5
3.3 Clasificación Taxonómica de los suelos de El Plantel .....	6
3.4 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos. ....	6
3.5 Análisis de rutina en el suelo.....	6
3.6 La interpretación de los análisis de suelos. ....	7
3.7 Diseño del plan de fertilización .....	7
3.8 Selección de la técnica de muestreo .....	8
3.9 Tipo de muestras (simple o compuesta) .....	8
3.10 Mapa o croquis de los muestreos de suelo.....	9
3.11 Tamaño del área y número de muestras .....	9
3.12 Muestreo utilizando pala o palín.....	9
3.13 Muestreo de alta precisión (MAP) .....	11
3.13.1 Muestreo por toposecuencia .....	11
3.13.2 Muestreo por unidades geomorfológicas .....	11
3.13.3 Muestreo por transectos.....	12
3.13.4 Muestreo en calicatas .....	12
3.14 Correlación del método analítico de suelos.....	12
3.14.1 Calibración del método analítico de suelos. ....	13
3.15 El mapeo o cartografía digital del suelo .....	13
3.15.1 Fundamento de Mapeo digital de suelo .....	15
3.15.2 Mapeo digital de fertilidad en el suelo .....	16
<b>IV.MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Descripción del área estudio .....	19

4.2 Materiales utilizados en el campo.....	21
4.3 Variables a medir del estudio.....	22
4.4. Manejo agronómico .....	22
Cultivo de plátano .....	22
Cultivo de Maíz.....	22
Cultivo de mango .....	22
Cultivo de aguacate.....	23
Cultivo del sorgo.....	23
Cultivo del coco .....	23
<b>V RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
5.1 El pH como indicador de fertilidad del suelo .....	28
5.2 La materia orgánica como indicador de fertilidad del suelo.....	30
5.3. El contenido de nitrógeno total como indicador de fertilidad del suelo. ....	33
5.4 El contenido de fósforo disponible como indicador de fertilidad del suelo. ....	35
5.5 El contenido de potasio disponible como indicador de fertilidad del suelo. ....	37
5.6 El contenido de calcio intercambiable como indicador de la fertilidad en el suelo. ....	39
5.7 El contenido de magnesio intercambiable como indicador de la fertilidad en el suelo .....	41
5.8 Capacidad de intercambio catiónico como indicador de la fertilidad de suelo. ....	43
5.9. El contenido de hierro disponible como elemento de la fertilidad en el suelo .....	45
5.10 El contenido de manganeso disponible como elemento de la fertilidad en el suelo .....	47
5.11 El contenido de cobre disponible como elemento de la fertilidad en el suelo.....	49
5.12 El zinc disponible como elemento de la fertilidad en el suelo. ....	51
5.13 Mapa de fertilidad de suelos de la UEVP. ....	53
6. Planes de fertilización.....	55
6.1. Plan de fertilización nitrogenada .....	57
6.2. Plan de fertilización fosfórica .....	57
6.3. Plan de fertilización potásica.....	58
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>61</b>
<b>VII Recomendaciones .....</b>	<b>61</b>
<b>VIII Literatura citada.....</b>	<b>62</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>65</b>

## INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Análisis químicos de 25 muestras seleccionadas durante el período de 2010-2021 del área agrícola de la UEVP.	27
2	Interpretación de rangos, y categorías de pH en el área agrícola.	28
3	Interpretación de rangos y categorías de la materia orgánica (%) en el área agrícola.	31
4	Interpretación de rangos y categorías de nitrógeno total (%) en el área agrícola.	33
5	Interpretación de rangos y categorías de fósforo disponible (ppm) en el área agrícola.	35
6	Interpretación de rangos y categorías de potasio disponible (meq/100 g suelos) en el área agrícola.	37
7	Interpretación de rangos y categorías de calcio intercambiable (meq/100 g suelos) en el área agrícola.	39
8	Interpretación de rangos y categorías de magnesio intercambiable (meq/100 g suelos) en el área agrícola.	41
9.	Interpretación de rangos y categorías de CIC (meq/100 g suelos) en el área agrícola.	43
10	Interpretación de rangos, categorías y área del hierro disponible (ppm) en el área agrícola.	45
11	Interpretación de rangos, categorías y área del manganeso disponible (ppm) en el área agrícola.	47
12	Interpretación de rangos y categorías y área de cobre disponible (ppm) en el área agrícola.	49
13	Interpretación de rangos y categorías y área de zinc disponible (ppm) en el área agrícola.	51

14	Valores promedio de los resultados de análisis químicos de macro y micros nutrientes del suelo por lote del área agrícola de la UEVP (2020).	56
15	Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que se aplicaran por cultivo.	57
16	Relación de los cationes del suelo y su balance en la disponibilidad de nutrientes por lote basado en los promedios de los análisis químicos.	59
17	Balance y desbalance de las relaciones de los cationes del suelo.	59
18	Resumen de los planes de fertilización de los cultivos del área agrícola de la UEVP.	60

---

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Ubicación del área agrícola en la Unidad de Experimentación y Validación EL PLANTEL, 2021	20
2.	Flujograma de trabajo utilizado como herramienta metodológica, en UEVP, 2021	20
3.	Mapa de distribución de categorías de pH en el área agrícola, en UEVP, 2021	29
4.	Mapa de distribución de las categorías de materia orgánica (%) en el área agrícola en UEVP, 2021	32
5.	Mapa de distribución de las categorías de nitrógeno total (%) en el área agrícola en UEVP, 2021	34
6.	Mapa de distribución de las categorías de fósforo (ppm) en el área agrícola en UEVP, 2021	36
7.	Mapa de distribución de las categorías de potasio (meq/100 g suelos) en el área agrícola en UEVP, 2021	38
8.	Mapa de distribución de las categorías de calcio (meq/100 g suelos) en el área agrícola en UEVP, 2021	40
9.	Mapa de distribución de las categorías de magnesio (meq/100 g suelos) en el área agrícola en UEVP, 2021	42
10.	Mapa de distribución de las categorías de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g suelos) en el área agrícola, en UEVP, 2021	44
11	Mapa de distribución de las categorías de hierro (ppm) en el área agrícola en UEVP, 2021	46
12	Mapa de distribución de las categorías de manganeso (ppm) en el área agrícola en UEVP, 2021	48
13	Mapa de distribución de las categorías de cobre (ppm) en el área agrícola en UEVP, 2021	50

14	Mapa de distribución de las categorías de zinc (ppm) en el área agrícola en UEVP, 2021	52
15	Mapa de distribución de las categorías de fertilidad de suelo en el área en UEVP, 2021	54

---

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Tabla de Interpretación de los resultados de análisis químicos de suelos, propuesto por Chirinos A (1977), citado por Quintana, O (1983).	62
2	Interpretación de los resultados de análisis químicos encontrados de todos los lotes en UEVP, 2021	63
3	Cálculo para encontrar el peso de una hectárea surco en UEVP, 2021	64
4	Cálculo para encontrar el nitrógeno disponible en UEVP, 2021	64
5	Absorción de nutrientes de los cultivos seleccionados según sus rendimientos (Floria Bertsh, 2003)	65
6	Hoja de cálculo para dosis de nitrógeno en UEVP, 2021	66
7	Hoja de cálculo para dosis de fósforo en UEVP, 2021	67
8	Hoja de cálculo para dosis de potasio en UEVP, 2021	68

## RESUMEN

La investigación se realizó en la Unidad de Experimentación y Validación El Plantel (UEVP) ubicada en el kilómetro 30 carretera Tipitapa – Masaya, utilizando los registros históricos y actuales de los análisis físicos y químicos de suelos tomados de las 15.25 hectáreas dedicada a la agricultura en el área, en los últimos diez años. Se han establecidos cultivos perennes como: aguacate, coco, mango guayaba y cultivos semi perennes: plátano, papaya, pitahaya yuca, cultivos anuales: maíz y sorgo, asimismo hortalizas, pipián en relevo. De las 43 muestras obtenidas se seleccionaron 25 muestras de suelo, cuyos resultados químicos e interpretación, muestran la problemática nutricional y de posibles deficiencias visibles en cultivos establecidos en el área; Se creó una base de datos con objetivo principal es utilizar esa información para diseñar planes de fertilización en los cultivos de mayor importancia económica. Observando y dentro de los resultados algunos análisis que tentativamente podrían estar ocasionando problemas en la producción, tales como: un incremento del pH de 6.45 a 8.02 durante el período del año 2010 al 2020, el fósforo disponible (P), clasificado como bajo en un 97%, con menos de 10 ppm, el potasio disponible (K) se encuentra clasificado como muy alto en un 99% de toda el área, mayor de 2.50 meq/100 g de suelos, la capacidad de intercambio catiónico se encuentra alta con más de 45 meq/100g de suelos; permitiendo mediante el uso del ArcGis versión 10.3 la generación de 13 mapas georreferenciado de los macros y micros nutrientes del área agrícola, que servirán de herramienta para la toma de decisiones en el manejo de la fertilización, y como objetivo del estudio la elaboración de 6 planes de fertilización de los cultivos de mayor importancia económica, e iniciar un cambio de paradigma de una agricultura convencional tradicional a la implementación de una agricultura de precisión a mediano plazo mediante el uso de una de la herramienta como es análisis de suelos.

Palabras claves: Interpretación, Fertilizantes, Nutrientes.

## **ABSTRACT**

The research was carried out in the El Plante Experimentation and Validation Unit (UEVP) located at kilometer 30 Tipitapa - Masaya highway, using the historical and current records of the physical and chemical analyzes of soils taken from the 15.25 hectares dedicated to agriculture in In the area, in the last ten years perennial crops have been established such as: avocado, coconut, mango, guava, and semi-perennial crops: banana, papaya, pitahaya, yucca, annual crops: corn and sorghum, as well as vegetables, pipián in relief. Of the 43 samples obtained, 25 soil samples were selected, whose chemical results and interpretation show the nutritional problem and possible visible deficiencies in crops established in the area; A robust database with quality was created whose main objective is to use this information to design fertilization plans in the most economically important crops. Observing and highlighting within the results some analyzes that could tentatively be causing possible problems in production, such as: an increase in pH from 6.45 to 8.02 during the period from 2013 to 2021, available phosphorus (P), classified as low by 97%, with less than 10 ppm, the available potassium (K) is classified as very high in 99% of the entire area, greater than 2.50 meq/100 g of soils, the cation exchange capacity is high with more than 45 meq/100g of soils; allowing, through the use of ArcGis version 10.3, the generation of 13 georeferenced maps of the macro and micro nutrients of the agricultural area, which will serve as a tool for decision-making in the management of fertilization, and as an objective of the study the elaboration of 6 plans of fertilization of the most economically important crops, and initiate a paradigm shift from traditional conventional agriculture to the implementation of precision agriculture in the medium term through the use of one of the tools such as soil analysis.

**Keywords:** Interpretation, Fertilizers, Nutrients.

## I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema muy complejo que sirve como soporte de las plantas, además servir de reservas de agua y de otros elementos necesarios para el desarrollo de los vegetales. Es conocido como un ente vivo en el que habitan gran cantidad de seres vivos como pequeños animales, insectos, microorganismos (hongos y bacterias) que influyen en la vida y desarrollo de las plantas de una forma u otra. El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos, que dejan espacios (poros, cámaras, galerías, grietas y otros) en el que se hallan las fases líquida y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) (Forsythe, 2000).

El suelo es un recurso natural no renovable más estudiado en el mundo y utilizado para diferentes necesidades siendo la agricultura el principal sector de aprovechamiento para garantizar el alimento, tanto para consumo humano como animal, dependiendo de su manejo agronómico se logra obtener un incremento de la productividad y el rendimiento de los cultivos o ganancia de peso o producción de lecho en la ganadería.

El análisis de suelo es una herramienta que sirve para detectar algunas deficiencias y limitaciones en la fertilidad que presentan los suelos, como acidez, y estimar la cantidad de nutrimentos que están disponibles para el desarrollo de las plantas, y deficiencias de minerales en el suelo que limitan los buenos resultados en la producción.

Los métodos más utilizados en el trópico para estimar la fertilidad de los suelos son: análisis de suelos, técnicas del elemento faltante, análisis de plantas, experimentos de campo y la combinación de varios o todas estas técnicas con el fin de responder a la carencia de los nutrientes que limita la productividad.

La interpretación del análisis de suelo depende de la disponibilidad nutriente que debe existir en el suelo, la cantidad de nutrientes que demanda el cultivo para obtener óptimos rendimientos con base a las condiciones climáticas existentes.

En Nicaragua se inician los estudios de fertilidad de suelos en la década de los 50s, por lo que no se puede hablar de un programa de evaluación de la fertilidad de suelos, sino es hasta 1974 cuando se iniciaron los estudios de niveles críticos de nitrógeno, fósforo y potasio N-P-K en los cultivos de granos básicos. Estos estudios los realizó la Dirección General de Ingeniería y Fomento Agropecuario (DGIFA) adscrita al Ministerio de Desarrollo Reforma Agraria MIDINRA.

Algunos estudios realizados en la Unidad Experimental y Validación del Plantel (UEVP) se han enfocado a determinar la capacidad de uso de los suelos y riesgo de erosión hídrica, existiendo poca o escasa información en los aspectos relacionados a la fertilización o enmiendas para los suelos utilizados en la producción agrícola.

Los suelos de la UEVP están clasificados como Molisoles, son suelos mullidos, se caracterizan por tener una fertilidad media, su formación geológica es a partir de toba volcánica, hace que encontremos (talpetate), a poca profundidad 40 cm, es un material de origen piroclástico muy liviano muy parecido a la piedra poma, que fue lanzado en la erupción del volcán Masaya en la era terciaria. (INETER, 2015)<sup>1</sup>

La sistematización de los datos químicos de suelo en la última década ha contribuido muy poco al incremento productivo de los rendimientos dentro del área de estudio a largo plazo. Así como, el efecto positivo de la aplicación de fertilizantes y enmiendas en este proceso, dejando incertidumbre sobre las bondades o potencialidad del suelo para la productividad.

Por tanto, es de mucha importancia implementar un estudio de fertilidad, sustentado en la búsqueda de datos existente, organizarla, sistematizarla y analizarla, de tal forma que permita, la generación de planes de fertilidad que contenga la deficiencia de nutrientes, demanda de requerimiento del cultivo y las dosis y enmienda a establecer si fuese el caso.

---

<sup>1</sup> INETER 2016 Mapa de Suelos de Nicaragua actualizado

Desde el punto de vista económico al contar con planes de fertilización, y con la interpretación de los resultados de los análisis de suelos, utilizando niveles críticos ya preestablecidos, por Quintana, O. (1983), traerá las ventajas de: evitar el sobre abuso en el uso de los fertilizantes, evitar la subutilización de estos y permitir una planificación de las cantidades y tipos de fertilizantes necesarios para la obtención de óptimas cosechas para cada cultivo.

La estrategia de las 4R IPNI, persigue realizar un manejo óptimo de la fertilización, y con la interpretación considerando, la dosis optima, el lugar adecuado para aplicar el fertilizante o la enmienda, el momento oportuno referido a las condiciones de humedad y la frecuencia adecuada consumo fisiológico de la planta.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General:**

Diseñar los planes de fertilización química y nutricional de los cultivos en la Unidad de Experimentación y validación El plantel (UEVP), utilizando la información existente del periodo (2010 – 2020),

### **2.2. Objetivos Específicos:**

Realizar diagnóstico del contenido de nutrientes de la información encontrada durante el período (2020-2021) de los análisis químicos de suelos.

Elaborar mapas digitales georreferenciados de los macro y micros nutrientes basados en la información obtenida del área agrícola de la UEVP.

Establecer los planes de fertilización de síes cultivos de mayor interés del área agrícola de la UEVP.

### **III. MARCO DE REFERENCIAS**

#### **3.1 Suelos**

El suelo es un sistema muy complejo que sirve como soporte de las plantas, además deservir de reservas de agua y de otros elementos necesarios para el desarrollo de los vegetales. Es conocido como un ente vivo en el que habitan gran cantidad de seres vivos como pequeños animales, insectos, microorganismos (hongos y bacterias) que influyen en la vida y desarrollo de las plantas de una forma u otra. El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos, que dejan espacios (poros, cámaras, galerías, grietas y otros) en el que se hallan las fases líquida y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) Forsythe, (2000).

El suelo es el medio en el cual las plantas crecen para alimentar y vestir al mundo. El entender la fertilidad del suelo es entender una necesidad básica de la producción de 6 cultivos (propiedades físicas, químicas y biológicas). La fertilidad es vital para que un suelo sea productivo, al mismo tiempo, un suelo fértil no es necesariamente un suelo productivo. Factores como: mal drenaje, insectos, sequías, y otros, pueden limitar la producción, aun cuando la fertilidad del suelo sea adecuada AgroSpary, (2021),.

Los suelos explotados con cultivos anuales presentan atributos químicos (pH, disponibilidad de nutrientes) y físicos (textura y compactación) que varían horizontal y verticalmente además de las variaciones pedogenéticas por causa de la influencia de los materiales de origen y de los factores de formación del suelo de El Plantel Ortega Batres y Flores Mejía, (2005).

#### **3.2 Aptitud de los suelos del Plantel.**

C. Zelaya, (1990) determinó que la aptitud de los suelos es que 24.4 % de las tierras no son aptas para uso agrícola, que un 23.0 % su mayor aptitud es frutales, el 24.2 % son aptos para hortalizas y un 28.4 son altamente aptos para granos básicos.

### **3.3 Clasificación Taxonómica de los suelos de El Plantel**

Catastro (1971), los suelos de la unidad experimental El Plantel pertenecen a la serie Zambrano, que consiste en suelo profundo a superficiales, bien drenado con subsuelos arcillosos y que está sobre un estrato endurecido continuo pero fragmentado (talpetate). Estos suelos se han desarrollado de ceniza volcánica que descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada, según el sistema de la USDA (1976) se clasifican como *Typic Durustolls*

Vogel., Acuña (1991), el tercer suelo (NI007), estudiado en la estación experimental el plantel, localizado sobre la carretera Tipitapa – Masaya, es moderadamente profundo (moderadamente bien drenado, de color pardo muy oscuro a pardo y de textura arcillo limoso a franco limoso, mezclado con fragmento piroclásticos frescos y de talpetate. Tres secuencias de horizontes son separadas por dos capas angostas de talpetate, continuo. El suelo se clasifica taxonómicamente como *Phaeozem haplico*.

### **3.4 Diagnóstico de la fertilidad de los suelos.**

Según Etchevers J.D (1998), el diagnóstico de la fertilidad del suelo se hace con el propósito de que este sirva para hacer un diagnóstico oportuno de una carencia de nutrientes, es de gran importancia para evitar pérdidas económicas de significancia, los disturbios nutricionales que ocasionan serias disminuciones en los rendimientos son fácilmente subsanables mediante la aplicación de medidas correctivas. Los disturbios nutricionales más comunes son las deficiencias de nutrientes las cuales se controlan con la adición de fertilizante.

### **3.5 Análisis de rutina en el suelo**

Según Espinoza et al, (2006), un análisis de suelo de rutina es una guía que describe la disponibilidad de nutriente y el potencial de absorción de nutriente por un cultivo. Los análisis de suelos convencionales solo miden una porción del total de nutrientes disponibles en el suelo. Los suelos tienen cantidades grandes de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, pero solo una pequeña fracción (normalmente menos del 1%) se encuentra en una forma en que las raíces la puedan absorber.

El objetivo de un análisis químico de suelo es para clasificación de suelo, manejo, mejoramiento, estudios ecológicos y químicos, fertilidad de suelos, (levantamiento nutricional, determinación de áreas de deficiencias, control de prácticas de fertilización, diagnóstico nutricional y recomendaciones de fertilización). Etchevers, (1998)

Su fundamento está en la relación de la disponibilidad de un nutriente medido en el laboratorio la concentración y absorción por la planta, dicho de otra manera, relación entre disponibilidad y rendimientos y relación entre disponibilidad y calidad. Etchevers, (1998)

### **3.6 La interpretación de los análisis de suelos.**

Según sean las características de detalle y especificidad de los estudios de calibración y correlación de los que surgen de las tablas de niveles críticos así será la precisión con que se pueda interpretar los análisis de suelos. Los niveles críticos varían según la solución extractora, según el tipo de suelo y según el cultivo, por lo tanto, antes de realizar una interpretación hay que tomar en cuenta con qué solución se hizo el análisis, y con qué tabla de niveles críticos (NC) se cuenta. Por NC de suelo se entiende aquella concentración extraída del suelo por encima del cual, las posibilidades de encontrar respuestas a la fertilización son muy bajas y por debajo de la cual, muy probablemente los rendimientos serán significativos Bertsch, (1998).

Etchevers J.E. (1998). La interpretación del análisis químico de suelo se basa en la teoría de analizar las variables que precisan de calibración y la que no necesita de calibrarse. Variables que no necesitan de calibrarse (pH, CE, MO, Nt,  $Ca_2^+CO_3^-$  (P fijado Arcillas), variables que si requieren de calibración (P disponible,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+3}$ ,  $Cu^2$ ,  $Zn^+$ ), selección del método (correlación) y establecimiento de la clase de fertilidad.

### **3.7 Diseño del plan de fertilización**

Realizado la interpretación del análisis de suelo, se hace el diagnóstico para elaborar el plan de fertilización ajustado a cada lote. El que consiste en la definición de las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, así como del momento y tecnología de aplicación, para satisfacer las

necesidades del cultivo Bertsch, F. (1998). Con el fin de hacer un buen manejo nutricional de los cultivos dentro del área en estudio

### **3.8 Selección de la técnica de muestreo**

La selección de la técnica del muestreo depende de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad del estudio y de los 3 requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras. Los equipos, las herramientas y los instrumentos a usarse en el muestreo estarán en función de: • La profundidad máxima para tomar la muestra. • Textura del suelo. • Enmienda para aplicar (fertilizantes o encalado). • Cultivo o uso de la tierra. • Tamaño del área de muestreo. • Accesibilidad al punto de muestreo. • Equipos y herramientas para la colecta de muestras en campo deben ser fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y no deberán contener sustancias químicas que puedan contaminar o alterar las muestras.

### **3.9 Tipo de muestras (simple o compuesta)**

El muestreo de suelo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio. La muestra es definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando, las muestras enviadas al laboratorio constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo con los objetivos establecidos.

#### **3.9.1 Muestra simple**

Se la llama así a la muestra obtenida de una sola extracción del suelo. Son usadas en trabajos de investigación, extensión, y en suelos muy homogéneos. Se recomienda una muestra por hectárea de 1 kg de suelo cada una para fines de nutrición de plantas.

#### **3.9.2 Muestra compuesta**

Se refiere a la muestra de suelo obtenida de varias extracciones o muestras simples, reunidas en un recipiente codificado por profundidad, si es el caso, y luego bien mezcladas, de donde se retira un kg de suelo. Es el muestreo más utilizado para planificar fertilización. Se recomienda entre 10 y 15 submuestras por unidad de muestreo.

### **3.9.3 Representatividad del muestreo de suelo**

La representatividad de la muestra está relacionada con los objetivos del muestreo de suelos, los cuales pueden ser: i) manejo de nutrientes (fertilidad), ii) Conservación y restauración de suelos (línea base y monitoreo), iii) Remediación, y iv) Caracterización para fines de planificación del uso de la tierra. Las escalas pueden variar desde pequeñas parcelas, fincas, y el nivel de paisaje (comunidad, microcuenca y multi parcelas).

### **3.10 Mapa o croquis de los muestreos de suelo**

Es importante realizar un croquis o mapa de la unidad productiva, indicando la posición de las parcelas o lotes donde se realizará el muestreo e identificarlas. Este croquis debe ser custodiado junto con los resultados de los análisis y los rendimientos, para el seguimiento de la evolución del manejo del suelo en el tiempo (Figura 2). Es recomendable hacer un recorrido por la finca, y apoyarse en las imágenes de Google maps, para identificar áreas homogéneas.

### **3.11 Tamaño del área y número de muestras**

El número de muestras depende de la variabilidad del sitio, se recomienda recolectar un mínimo de tres muestras por cada tipo de suelo o manejo, a las profundidades predeterminadas. Cada muestra puede estar compuesta de 6 o 12 submuestras, para un 80% de precisión Swenson L. Danhke, W and Patterson, (1984). La cantidad de suelo utilizado para análisis de rutina es 0.25 kg de suelo, pero es preferible llevar 0.5 kg. Empacados en bolsas plásticas debidamente identificadas con tinta permanente, o recipiente hermético (para medir humedad).

### **3.12 Muestreo utilizando pala o palín**

Este método es el más sencillo y práctico, los productores lo pueden realizar rápidamente; se recomienda de previo, marcar con un cuchillo o clavo la profundidad de muestreo en la pala. El proceso es el siguiente: a). Seleccionar el sitio a muestrear, para ello se debe disponer del croquis de la finca, y tener los lotes enumerados (lote 1, 2...n1, n2), b). Eliminar la cobertura vegetal y piedras de la superficie en el sitio de muestreo, c) Marcar en la pala la profundidad de muestreo y cavar un hueco en forma de “V” del ancho de la pala y la profundidad requerida,

según el cultivo d). Tomar un corte de suelo de 2 a 3 centímetros de espesor de la pared del hueco y depositarla en un balde plástico identificado con la profundidad; éste debe estar limpio de impurezas tales como restos de fertilizante, cal, estiércol, cemento, etc e). Repetir esta operación en cada uno de los puntos, siguiendo las indicaciones del muestreo predefinido f). Homogenizar las muestras que corresponden a la misma profundidad en el balde y depositarla en la bolsa (etiquetada).

### **3.12.1 Muestreo utilizando barreno (barrenadas)**

Cuando se utiliza barreno se procede de la siguiente forma: a. Introducir el barreno al suelo haciéndolo girar, el penetra como si fuese un tornillo a los 20 cm y extraer la muestra. b. Depositar la muestra de suelo en un balde plástico identificado por la profundidad. Debe estar limpio de impurezas como fertilizantes, cales, estiércoles, cemento, etc. c. El distanciamiento entre una observación y otra depende del objetivo del muestreo, tamaño del lote homogéneo y del método de muestreo seleccionado.

#### **3.12.1. 2. Estrategias de muestreo de suelos para fertilización**

El muestreo de suelos es una de las etapas más críticas del diagnóstico de la fertilidad, por lo que se debe hacer con rigor y considerando aspectos biofísicos como el área, cultivo, características del sitio, y el nivel de parcela o finca. El proceso requiere enfatizar en la planificación, toma de muestra, custodia y el ingreso de la muestra al laboratorio de suelos.

El análisis de rutina en laboratorio de suelos incluye los propuestos por Quintana, et al. (1983): determinación de textura, reacción del suelo (pH), densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ), materia orgánica (MO, %) y los macronutrientes nitrógeno (N, %), fósforo (P, ppm), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) expresados en meq/100 g. Los análisis especiales incluyen a los micronutrientes manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) expresados en ppm, capacidad de intercambio catiónico (CIC, meq/100 g), acidez intercambiable (Al + H), saturación de bases (%), conductividad eléctrica (CE), y agua aprovechable en el suelo.

La calidad de los resultados del análisis de suelos será tan buena como lo sea la calidad de las muestras tomadas y la calificación del laboratorio, puesto que la muestra analizada en laboratorio es apenas de 10 a 15 g por kilogramo de la muestra compuesta de suelo; es decir

que esa fracción tomada de la muestra compuesta representa millones de kilogramos de suelo de la parcela de donde proviene. Por este motivo, es vital que el levantamiento de una muestra sea cuidadoso y representativo, para asegurar que los resultados del análisis sean oportunos y útiles.

### **3.13 Muestreo de alta precisión (MAP)**

Este término está asociado a la agricultura de alta precisión, y tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para seleccionar zonas o parches, donde está siendo afectado el rendimiento de un cultivo. Este muestreo trata de caracterizar factores que afectan el rendimiento, y a partir de los resultados se establece la necesidad de continuar procesos de gestión de manejo de suelo, que podría incluir las siguientes acciones: Cambio de sustratos nutricional, Restricciones de uso, y Cambio de uso y manejo del suelo, entre otros.

#### **3.13.1 Muestreo por toposecuencia**

La toposecuencia es definida como la secuencia o asociación de suelos en un paisaje o ladera, donde el único factor que varía es el fisiográfico (Jenny, 1941; Boul S.W., et al., 1990). Este tipo de muestreo fracciona la ladera en sus diferentes partes persigue aumentar la precisión de los análisis de suelo, dado que agrupa suelo relativamente homogéneo, por su piso altitudinal y procesos de formación de suelo que predominan en el sitio. Dentro de cada unidad de muestreo se pueden aplicar los patrones de muestreo Estratificado en zigzag o aleatorio estratificado.

#### **3.13.2 Muestreo por unidades geomorfológicas**

El muestreo utilizando unidades geomorfológicas trata de agrupar unidades de suelo similares en relieve y material parental presente o tipo de roca. Un ejemplo se representa en, donde las unidades de suelo son predeterminadas bajo ese principio. Esta técnica es utilizada en la fase de planificación del muestreo, ya que determina el número de observaciones por unidad geomorfológica y se aplica el criterio de la escala de trabajo. Los patrones de muestreo aplicados pueden ser de anillos concéntricos, donde se ubica la descripción completa (perfil de suelo) en el centro y de manera radial se realizan observaciones con barreno (sondeo) para comprobar. El número de muestras depende de la escala del estudio. En la actualidad este

procedimiento es apoyado con el método Hipercubo Latino Acondicionado, que se utiliza para la optimización de puntos de muestreo de suelo, utilizando herramientas SIG.

### **3.13.3 Muestreo por transectos**

Los muestreos por transectos son similares a los realizados por toposecuencias, lo único que este método incluye mayor variabilidad de suelos, lo cual implica realizar mayores unidades de muestreo o agrupamientos de suelos. Muchas veces se aprovechan cortes de caminos o carreteras. Por otro lado, si los perfiles se localizan en un transecto, se logra apreciar la distribución espacial del suelo por catenas en el relieve. Asimismo, si los perfiles se localizan en áreas homogéneas, estos se pueden representar en mapas, y ser utilizados para ordenamiento territorial. Se deben incluir acciones tales como, cambio de uso, manejo del suelo y restricciones de uso.

### **3.13.4 Muestreo en calicatas**

El muestreo por calicatas tiene como propósito recolectar muestras representativas de cada horizonte en el perfil de suelo, a profundidades predeterminadas a un metro de fondo. El muestreo es para cuantificar las propiedades a cada profundidad con fines de clasificación o estudios de carbono almacenado en el suelo.

Este muestreo trata de identificar procesos de formación de suelos y las características de diagnóstico que afecta la productividad de un cultivo o plantación. Como resultado se genera información individual del perfil del suelo. El número de muestras lo determina la escala de trabajo del estudio de suelo y la complejidad del paisaje y su geomorfología. Ejemplo de este tipo de muestreo es el utilizado para clasificación taxonómica, estudios de clases agrológicas, estudios de evaluación de tierras, fertilidad y carbono en el suelo.

## **3.14 Correlación del método analítico de suelos**

En el presente trabajo de investigación se establecieron en la selección de las muestras de suelos a nivel de campo algunos indicadores como: textura, color, relieve, lo que permitirá seleccionar

el mejor método analítico de suelo que refleje fielmente la mayor cantidad de extracción de nutrientes de la planta, propuesta por J.E Etchevers (1998) y Hauser (1978).

#### **3.14.1 Calibración del método analítico de suelos.**

La calibración de un método consiste en el establecimiento de relaciones definidas entre la disponibilidad, medida por un método químico y el rendimiento, obtenido como repuesta a la aplicación de fertilizantes para un cultivo determinado. El trabajo de calibración se debe realizar exclusivamente en experimento de campo. El número de experimentos debe ser tal que cubra toda la gama posible de repuesta. Mientras mayor sea esta mayor será la calidad de los resultados. En general podemos decir que, con treinta o cuarenta sitios, los cuales se analizan previamente por el método seleccionado para asegurar representatividad de todo el espacio de exploración, es posible hacer inferencias acertadas. El uso de información generada en varios años es deseable, ya que ello asegura observaciones bajo diversas condiciones de producción.

#### **3.15 El mapeo o cartografía digital del suelo**

La necesidad de conocer la distribución geográfica de los suelos y de aprovechar el recurso en las actividades humanas, agrícolas y ganaderas ha impulsado una gran cantidad de investigaciones y metodologías para desarrollar estudios, análisis y sistemas predictivos de suelos integrados con el mapeo digital Bertsch, B. (1998).

El estudio del recurso suelo siempre ha sido de primera necesidad y diversas culturas han desarrollado sus métodos de estudio de acuerdo con sus objetivos específicos, principalmente con fines agrícolas. Varios enfoques han sido utilizados para generar información de suelos, el principal corresponde al método convencional que se basa en generar un modelo mental de la relación suelo-paisaje y correlacionar con los demás factores formadores del suelo (Mantovani Coelho et al. s.f).

Existe una demanda creciente de geo-información de suelos, cada vez a escalas más grandes y con un enfoque más cuantitativo, por tanto, el desarrollo de herramientas y enfoques modernos generan un escenario potencial para brindar información de suelos más rápida, objetiva y que

represente con mayor precisión la real variabilidad de este recurso y sus propiedades Mata Ch. (2010).

La idea general es que cada suelo se encuentra en un lugar por un motivo y si podemos determinar la historia del ambiente en que se encuentra ese suelo, podremos predecir al propio suelo. Esta constituye la idea básica del modelo convencional del estudio de suelos.

El uso de cartografía digital para evaluar la fertilidad del suelo no es común. En América Latina y el Caribe, se utiliza principalmente en el campo de la agricultura de precisión en países como Brasil, Chile y Argentina. Así mismo, algunos centros de investigación han comenzado a utilizar la cartografía digital de suelos, en el marco de políticas de investigación y desarrollo, en países como Argentina INTA, (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Bolivia (Universidad Mayor de San Simón), Brasil (Embrapa- Solos), Chile (compañías privadas), Venezuela (Universidad Central de Venezuela) (ALAC 2014).

El grupo SOLIM (2004) citado por Villareal Núñez et al. 2010, indica que, para realizar un levantamiento de suelos convencional, el edafólogo o pedólogo primero debe construir un modelo mental subjetivo de la relación suelo-paisaje y analizarlo a través de un trabajo de campo intensivo. Tradicionalmente, la distribución espacial de las unidades suelo-paisaje es identificada y delineada a través de la fotointerpretación.

Este enfoque, como lo menciona Mata Ch. (2010), se basa sólo en los datos y desarrolla modelos geoestadísticos que pueden ser aplicados para predecir las propiedades de los suelos en lugares que no fueron visitados en el muestreo.

La Geoestadística, se define como la ciencia aplicada que estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio. Se basa en el hecho de que los datos se correlacionan espacialmente, es decir, un dato se relaciona con otros cercanos, pero a medida que se alejan del mismo, la dependencia espacial disminuye. La aplicación a la ciencia del suelo en la geoestadística a datos edafológicos se popularizó en la década de los 80, como se ha evidenciado con el incremento de estudios reportados los

podólogos deben estudiar la variabilidad espacial con el fin de representar de una forma más adecuada, real y precisa el suelo y sus propiedades (Mantovani Coelho et al. s.f).

En estudios realizados en Bolivia se utilizó la cartografía digital para generar datos e información cuantitativa sobre el estado actual de los suelos en el municipio de San Buenaventura, con el fin de evaluar su potencial para el cultivo de caña de azúcar bajo diferentes escenarios de gestión Ortega Blu. (2012).

En Brasil se han realizado investigaciones para la definición del tamaño de las cuadrículas para realizar un muestreo en cuadrículas, dando como resultado la necesidad de un gran número de puntos para el muestreo para poder identificar mejor la variabilidad del suelo en los cultivos, la recomendación del tamaño de la cuadrícula para el muestreo será en función de la resolución deseada “precisión del mapeo” asociada a los costos (Schlatter J. (2008).

### **3.15.1 Fundamento de Mapeo digital de suelo**

El mapeo digital de suelo es la generación de mapas de tipos o propiedades de suelos mediante relaciones cuantitativas (modelos de predicción) entre datos de suelos (observaciones de campo y datos de laboratorio) y variables ambientales Angelini, M. (2012)

Según Angelini, 2012 (Mapeo digital de suelos) el fundamento del mapeo digital de suelos se basa en las propiedades de formación del suelo las cuales son: clima, organismos, topografía, material de origen y tiempo. Las cuales toman diferentes variables de cada una de estas propiedades que permiten el origen de los suelos como se define a continuación: Sc, p= f (s.c.o.r.p.a.n)

S: Suelos, otras propiedades del suelo.

C: clima, propiedades climáticas (temperatura, precipitación y viento)

O: organismos, vegetación biomasa, fauna, actividad humana.

R: relieve, atributos del terreno.

P: material parental, litología.

A: edad, el factor tiempo.

N: espacio, posición espacial.

Según Minasny, B. McBratney, A. (2006). El modelo s.c.o.r.p.a.n. es un modelo cuantitativo digital el cual permite la estimación de clases o propiedades, a partir de información de suelos, clima, material parental y tiempo tomando en consideración su localización espacial, el modelo permite hacer descripciones empíricas de las relaciones entre el suelo y los factores de formación a, esto permite predecir el suelo a partir de sus propiedades.

### **3.15.2 Mapeo digital de fertilidad en el suelo**

En el manejo de la fertilidad del suelo a través de la agricultura de precisión, generalmente el terreno se subdivide de acuerdo con un muestreo en cuadrículas regulares (regular grids) con determinado tamaño homogéneo, de modo de efectuar un muestreo sistemático en puntos georreferenciados Mata Ch. (2012).

Los valores de fertilidad con las coordenadas geográficas posibilitan interpolar espacialmente los resultados de los análisis de suelo del conjunto de muestras extraídas y generar mapas que representen la variabilidad de los atributos de interés, cuando los resultados son obtenidos producto de las interpolaciones por ejemplo mapas de disponibilidad de K, para recomendar las dosis de fertilizantes y correctivos necesarios en diferentes partes del área analizada Henríquez C. Méndez, J. Masis, R. (2013).

Los datos obtenidos por medio de los muestreos georreferenciados para el mapeo de la fertilidad del suelo deben ser procesados y validados según los principios geoestadísticos, y los mapas deben ser manipulados y acabados a través del SIG (Sistema de Información Geográfica), para esto se requiere la recolección de cierto número de muestras para que los datos puedan ser analizados por la geoestadística, para la obtención de mapas confiables Calderón, P. Franquiz, D. Cabrera, R. (2012).

En la agricultura de precisión para determinar la fertilidad del suelo, se deben de asociar procedimientos adicionales de caracterización de áreas para orientar mejor la etapa de muestreo, sobre todo cuando se trata de un área extensa, otros tipos de información georreferenciada pueden ser importantes para orientar su subdivisión en partes más homogéneas, que deberán

ser muestreadas y mapeadas aisladas, en caso de que sea conveniente (Mantovani, C. y Vargas R s. f ).

Aspectos normalmente observados para el muestreo tradicional también son válidos para el muestreo georreferenciado entre estas se mencionan: las diferencias de color del suelo, cobertura vegetal, el histórico de su uso anterior (incluido el histórico de eventual erosión/degradación), textura, relieve y drenaje, los cuales tienen implicaciones sobre la fertilidad del suelo y el potencial productivo a lo largo de las áreas de cultivo Villareal, N. Tuñón, B. García, E. (2010).

El registro de datos de productividad de años anteriores y la secuencia de datos de productividad obtenida luego de tres o más cosechas en diferentes cultivos, puede ser relativizada e integrada en un único mapa, revelando sub-ambientes estables a lo largo del tiempo que presenten potencial productivo distinto. Esto es útil para orientar el muestreo del suelo y la aplicación a dosis variable, ese tipo de información abre la perspectiva para que se apliquen otros enfoques de agricultura de precisión, tales como: fertilización basada en la exportación de nutrientes en la cosecha y siembra a dosis variable Villareal, N. Tuñón, B. García, E. (2010).

El conocimiento histórico del uso y de eventuales variaciones en el manejo del suelo y de los insumos en diferentes partes del campo es un aspecto imprescindible en la estratificación del muestreo individualizado. El uso de cal y fertilizantes por períodos de tiempo diferentes crea impresiones digitales en el suelo que no pueden ser “ocultadas” por el manejo más reciente, induciendo a la formación de zonas con fertilidad diferencial. Para identificar ese tipo de situación, es fundamental la interacción con el productor o con personas que están directamente vinculadas día a día en la conducción de las áreas cultivadas. Incluso a partir de observaciones empíricas, ellos pueden auxiliar mucho en la interpretación de los mapas de rendimiento y en la toma de decisiones para el manejo localizado en diferentes partes del campo Calderón, P. Franquiz, D. Cabrera, R. (2012).

Según IPNI las 4R están referidas a una estrategia que toma en cuenta: a) fuente que se relaciona al mineral nutricional a ser aplicado al cultivo, b) la dosis referida a la cantidad de cada mineral nutricional a ser aplicado al suelo que sería absorbido por la planta una vez integrado a la

solución del suelo, c) el momento relacionado a la etapa fisiológica de mayor demanda de nutriente del cultivo y por último d) el lugar se encuentra relacionado a la forma de aplicación del nutriente al suelo, se obtendrá una mayor eficiencia en el uso de estos, lo que vidria a reflejarse en un incremento en los rendimientos de los cultivos establecidos en el área de estudio.

## IV.MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Descripción del área estudio

La Universidad Nacional Agraria (UNA) tiene bajo su patrimonio la Finca el Plantel, se ubicada en el Kilómetro 30 carretera Tipitapa – Masaya. Los suelos pertenecen a la serie Zambrano, del Departamento de Masaya. En las coordenadas latitud  $12^{\circ} 07'30''N$ , y longitudes  $86^{\circ} 05'27'' W$ .

Somarriba, (1989); Zelaya (1990). La Unidad de Experimentación y validación El Plantel (UEVP), tiene un área total de 161. 84 hectáreas (véase figura 1), se encuentra en una zona de vida de Bosque seco tropical (bs-T), (Holdrige, 1987) con una precipitación promedio anual 1100 mm, y temperatura media de  $26.6^{\circ}C$  y evapotranspiración potencial de 1400 mm.

La Unidad Experimental de El Plantel está ubicada en el kilómetro 30 de la carretera Tipitapa-Masaya, tiene una elevación 110 msnm. las coordenadas geográficas la ubican entre los  $12^{\circ}06'24''$  y los  $12^{\circ}07'30''$  latitud norte y entre los  $86^{\circ}04'46''$  y los  $86^{\circ}05'27''$  Longitud Oeste (M Somarriba,1989).

La superficie de la Unidad Experimental de El Plantel es de 160 ha equivalentes a 222 manzanas y el área destinada para uso agrícola es de 15.27 ha equivalente a 22 manzanas, se encuentra en la parte baja del corredor seco, con precipitaciones de 800 a1000 mm /año, gran parte de ella ocurre entre los meses de mayo a octubre, presentando un corto período seco entre julio y agosto conocido como (Canícula), y los otros seis meses permanecen los suelos secos y prácticamente descubierto de vegetación época seca, la temperatura media anual es de  $26^{\circ}C$ , tiene un relieve plano, clasificada según Holdrige como una zona de vida de bosque seco tropical (BST),. Somarriba (1989).



Figura 1. Ubicación del área agrícola de la Unidad de Experimentación y Validación El Platel, 2021

El estudio es de carácter descriptivo ya que se desarrolló en cinco fases según el flujograma de actividades que se presenta a continuación:

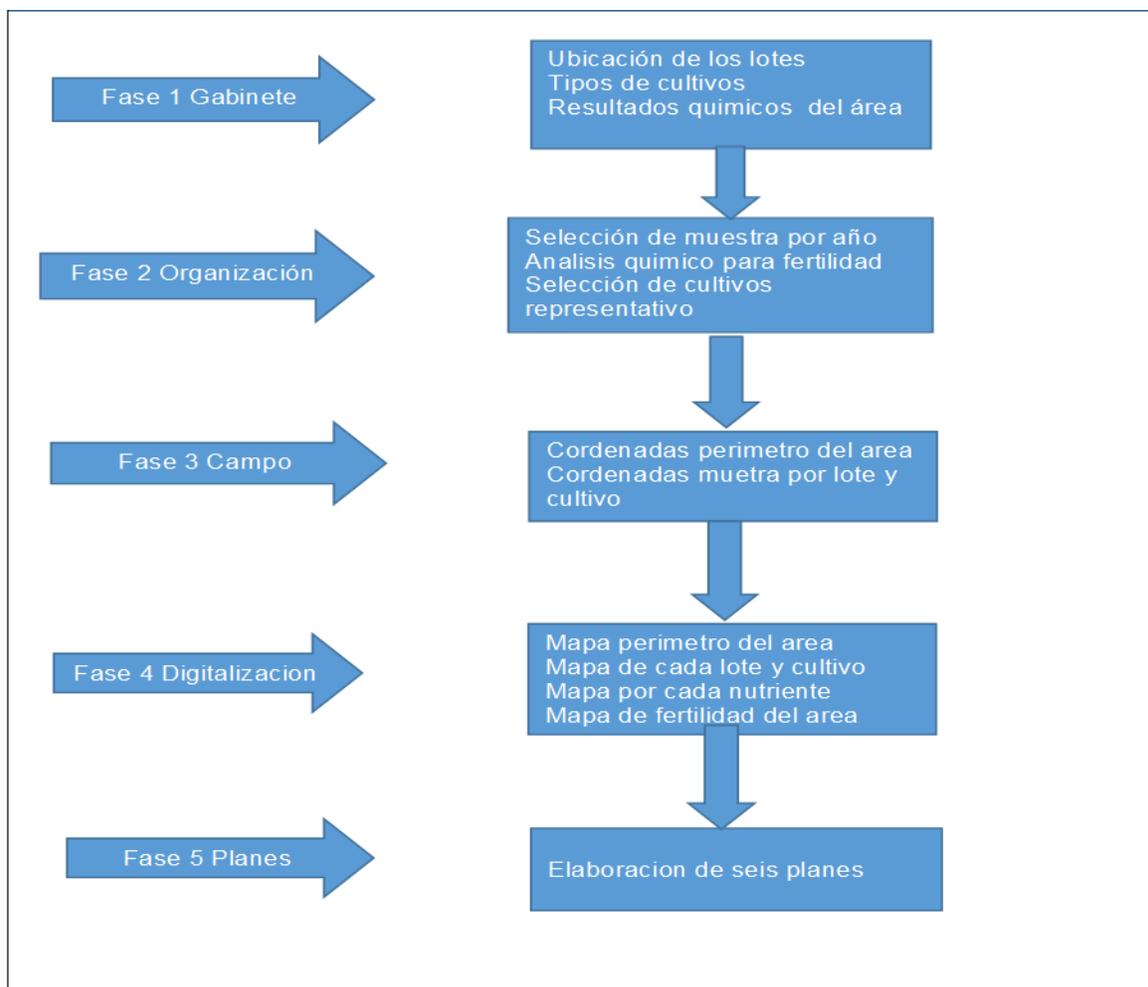


Figura 2. Flujograma de trabajo utilizado como herramienta metodológica. En UEVP, 2021

#### 4.2 Materiales utilizados en el campo

Para la realización del presente estudio se utilizaron, en el área de campo GPS (GARMIN) para las tomas de las coordenadas del perímetro de toda el área agrícola, también se utilizaron barreno de colcho para la toma de muestras de suelos para fertilidad, cinta métrica para verificar la profundidad correcta. Así mismo bolsas plásticas para depositar la muestra compuesta que se enviaría al laboratorio para sus respectivos análisis, crayón permanente para su debida identificación.

### **4.3 Variables a medir del estudio.**

Para realizar un diagnóstico y poder determinar el grado de fertilidad de los suelos de la Unidad de Experimentación y Validación El Plantel, (UEVP), la información de los datos físicos y químicos de los últimos diez la facilitó el responsable de producción del área.

La base de datos de los análisis químicos identificados y consistentes son: pH, carbón orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico (CIC), calcio, y magnesio intercambiable, microelementos hierro, manganeso, cobre y zinc disponible.

### **4.4. Manejo agronómico**

#### **Cultivo de plátano**

Los terrenos dedicados al cultivo del plátano deben reunir ciertas condiciones naturales que los hagan aptos para este fin. Los suelos apropiados para son los que varían de ligeramente ácidos a neutros (pH 6.5 -7.0), aunque también tolera los ligeramente alcalinos. Los suelos deben ser de topografía plana para facilitar las labores culturales y evitar al máximo la erosión, sueltos, profundos, ricos en materia orgánica, fértiles y con buen drenaje, dado que los encharcamientos lo afectan e inclusive pueden matar la planta (Programa de desarrollo del cultivo de plátano).

#### **Cultivo de maíz**

Los suelos más apropiados para la producción de maíz son los suelos francos o francos arcillosos con buen drenaje. Los factores físicos, químicos y ambientales son los que determinan la capacidad de producción de estos suelos, los sistemas de riego más empleados son el riego por goteo y aspersión en verano las necesidades hídricas alcanzan aproximadamente unos 100 m<sup>3</sup> de agua por semana y por hectárea y en otoño la mitad, así mismo los riegos se reducen cuando los frutos están próximos a la madurez Cruz, O. (2013).

#### **Cultivo de mango**

El mango es una de las frutas que más se producen en las áreas tropicales y subtropicales, además se puede adaptar en alto grado a diversas condiciones edáficas y de fertilidad; sin embargo, aunque es tolerante a los suelos de baja fertilidad, sus niveles de producción se elevan sustancialmente en suelos fértiles, Los requerimientos hídricos dependen del tipo de clima del área donde estén situadas las plantaciones. Si se encuentran en zonas con alternancia de

estaciones húmeda y seca, óptimas para el cultivo del mango, Los riegos más copiosos deben darse cuando los capullos van a abrir, y hasta varias semanas después de la fructificación. Mientras la fruta aumenta de tamaño debe regarse una vez cada quince días y puede dejarse de regar al acercarse la madurez Duran, R. Villa, A. Flores, A. (2014).

### **Cultivo de aguacate**

El aguacate es más exigente a las características del suelo que otros frutales; por tanto, este posee una raíz distinta, limitando a adaptarse a suelos difíciles, no posee raíces terciarias ni pelos radicales y tienen una raíz fácilmente quebradiza la cual absorbe agua y nutrientes únicamente por la punta, a través de células presente en la zona de crecimiento longitudinal. Para un adecuado desarrollo del cultivo de aguacate, se requiere que un suelo posea las ciertas características como un suelo franco, un drenaje excelente permitiendo que el agua filtre fácilmente en el suelo, Aunque el árbol de aguacate no tolera un suelo permanentemente húmedo, tampoco prospera ante la falta de humedad. De esta manera, la elección de un terreno adecuado (que no se encharque) y una alta rigurosidad en el aporte de agua, resultan los elementos imprescindibles para el buen desarrollo del cultivo y evitar males mayores. Garbanzo, M. (2011).

### **Cultivo del sorgo**

En Nicaragua, el sorgo ocupa alrededor del 18% de la superficie sembrada con granos básicos. Alrededor del 60% de la producción se utiliza para la elaboración de alimentos concentrados para la avicultura y el resto para el consumo humano. Existen tres tipos de sorgos cultivados en Nicaragua: sorgo industrial (grano rojo), sorgo maicillo (ciclo corto, grano blanco) y sorgo millón (criollo, es fotoperiodico). Su resistencia a la sequía y el calor lo hace un cultivo importante en regiones donde las precipitaciones son escasas debido al cambio climático y es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo. INTA (2017)

### **Cultivo del coco**

El coco es una planta que necesita mucha luz. Para realizar el trasplante, se deben hacer hoyos de 30 centímetros de ancho por 30 centímetros de profundidad. Luego se coloca la planta dentro

del hoyo y se tapa. Se recomienda que el suelo tenga suficiente humedad hasta una profundidad de 10 centímetros al momento de la siembra, se debe evitar el encharcamiento. Generalmente la siembra debe realizarse cuando el invierno está iniciando o ya está establecido. INTA, (2018)

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se realizó en la UEVP como finca El Plantel, la cual ha sido en los últimos años destinada a las actividades productivas, capacitación e intercambio con productores. Asimismo, al ejercicio práctico de los módulos de diversas carreras en la formación profesional. La UEVP, se ubica en el kilómetro 30 carretera Tipitapa – Masaya y pertenece administrativamente al departamento de Masaya a como se muestra en la (Figura 1).

Se encontró una base de datos de 43 muestras en total tomadas a 20 cm, de profundidad, tomadas en los últimos 10 años (2010-2020) del área agrícola de la Unidad de Experimentación y Validación El Plantel (UEVP), de las cuales se seleccionaron 25 muestras, que corresponde al 58% del total, (Ver cuadro 1) las que tenían completos los análisis químicos, se componen la siguiente manera: 1 muestra del año 2013,(4%),11 muestras del año 2015, (44%), 9 muestras del año 2017,(36%) y 4 muestras del año 2021, (16%).

Con los resultados químicos de suelos se pretende realizar: un diagnóstico actual de la cantidad y disponibilidad de los nutrientes del área, interpretación de los resultados de los análisis químicos, elaborar planes de fertilización basados en los resultados de los análisis de suelo, para los cultivos de mayor importancia de la UEVP.

De los resultados de los análisis químico de suelo mostrados en el (Ver Cuadro 1) se obtuvieron un total de 13 mapas digitales de todos los parámetros estudiados: pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (Nt), fósforo (P), potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{+2}$ ), magnesio ( $Mg^{+2}$ ), capacidad de intercambio catiónico (CIC), hierro ( $Fe^{+2}$ ), cobre ( $Cu^{+2}$ ), zinc ( $Zn^+$ ) y manganeso ( $Mn^{+2}$ ), y el mapa de fertilidad del área en estudio que combina todos los elementos. Las variables fueron clasificadas como nivel alto, medio o bajo con base a los niveles críticos propuesto por Quintana, O. (1983). (Ver anexo 1 y 2).

Los resultados de análisis químicos encontrados muestran cómo están distribuidos los parámetros relacionados con la fertilidad actual del área, de la siguiente manera: en el parámetro de pH se encontraron valores extremadamente ácido (5.57), a ligeramente alcalino (8.02), (Véase cuadro 1); la materia orgánica se encontraron valores bajos de 0.60 %, y altos de 5.06

%; el contenido de nitrógeno total se encontraron valores bajos de 0.05% y alto de 0.25%; el fósforo disponible se encontraron valores bajo de 0.35 ppm y alto de 35.67 ppm; el potasio disponible se encontraron valores bajo de 0.10 meq/100 g de suelos, y alto con 2.72 meq/100 g de suelos; el contenido de calcio encontramos valores mínimo de 14.85 meq/100 g de suelos, y alto 43.51 meq/100 g de suelos; en el magnesio los valores mínimos de 3.38 meq/100 g de suelos, altos 19.62 meq/100 g de suelos; en la CIC encontramos valores bajo de 34.56 meq/100 gramos de suelos y altos 47.31 meq/100 g de suelos; los contenidos de hierro encontramos valores bajo de 6.60 ppm y altos 63.30 ppm; en el manganeso encontramos valores bajo de 0.50 ppm y altos de 201.15 ppm; en los contenidos de cobre encontramos valores bajo 5.0 ppm y altos 15.20 ppm; en el caso del zinc encontramos valores bajos de 1.25 ppm y altos 32.50 ppm.

La variabilidad de los resultados obtenidos puede ser considerado por el efecto residual de los fertilizantes aplicados a los cultivos dentro de la forma de rotación en cada lote, asimismo el efecto de las tomas de muestras de suelos en diferentes años, y distribución lo que ocasiona dicha variabilidad. No dejando de enfatizar el manejo en la forma de incorporación de los residuos de cosecha a través del tiempo.

**Cuadro 1. Análisis químicos de 25 muestras seleccionadas durante el período de 2010 al 2020 en la UEVP.**

Año	Lote	pH	MO	N	P	K disp.	Ca	Mg	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn	Cultivo
2015	1	6,23	2,62	0,13	4,81	1,34	25,17	6,49	44,22	51,40	15,20	1,75	22,55	Papaya,
2017	1	6,74	1,91	0,10	35,67	2,09	22,63	7,48	41,55	10,90	6,45	18,20	2,00	Papaya,
2015	2	6,57	3,91	0,20	4,93	2,00	21,88	6,45	44,22	31,20	12,60	1,85	87,75	Granos Básico
2017	2	7,46	1,97	0,10	4,08	1,26	14,85	3,41	42,99	6,80	6,45	23,40	1,20	Granos Básico
2017	2	6,30	1,76	0,09	13,24	2,31	20,74	7,75	44,02	11,70	7,45	22,10	1,00	Granos Básico
2015	3	6,57	3,91	0,20	4,93	2,00	21,88	6,45	34,56	31,20	12,60	1,85	87,75	Granos Básico
2017	3	7,35	1,91	0,10	7,44	1,15	21,62	5,81	44,22	6,60	5,95	19,60	0,50	Granos Básico
2017	3	6,85	2,79	0,14	21,92	0,34	30,44	9,80	43,99	10,30	6,80	3,30	128,20	Granos Básico
2015	4	6,26	3,71	0,19	2,17	1,94	23,21	5,93	44,22	27,10	9,80	2,35	103,75	Níspero y Mamón
2017	4	7,39	0,93	0,05	3,12	0,35	25,35	8,08	39,02	26,70	6,85	29,40	0,90	Níspero y Mamón
2015	5	6,47	3,40	0,17	13,89	1,98	21,60	8,16	44,22	36,10	13,50	2,45	107,65	Frutas Exóticas,
2017	5	6,89	1,03	0,05	16,39	2,05	30,14	8,80	41,55	8,40	6,65	15,80	1,20	Frutas Exóticas,
2021	5	8,02	2,95	0,13	3,76	1,22	43,51	12,72	47,31	11,45	5,00	2,65	48,10	Frutas Exóticas,
2015	6	6,25	0,60	0,03	4,75	2,04	26,01	8,26	44,22	44,80	14,20	2,05	102,35	Musáceas
2017	7	7,34	1,81	0,09	15,34	1,98	22,65	6,79	44,84	7,30	6,45	22,00	1,00	(sorgo)
2013	8	6,25	2,86	0,14	23,80	1,56	26,49	10,22	44,20	24,57	9,15	9,59	54,37	(sorgo)
2017	8	7,28	1,97	0,10	6,80	2,14	15,47	8,90	44,43	9,40	6,95	23,40	1,10	(sorgo)
2015	9	6,64	3,29	0,16	7,78	1,72	23,83	7,23	44,22	34,30	11,70	1,35	90,35	Piña
2015	10	5,57	5,06	0,25	7,78	1,85	25,33	5,10	44,22	47,30	11,10	2,25	201,15	Guayaba
2015	11	6,43	3,20	0,16	7,78	2,49	24,59	16,90	44,22	39,40	13,20	1,35	130,65	Aguacate
2021	11	6,85	1,36	0,07	1,50	0,10	27,92	13,08	37,03	32,70	8,75	32,50	2,35	Perfil 3
2021	12	6,17	4,54	0,23	2,22	1,28	25,81	3,38	44,22	63,30	14,80	1,25	72,25	Mango (alta)
2015	12	6,39	3,97	0,20	0,35	2,72	24,33	8,10	44,22	33,50	12,80	3,45	128,05	Mango (bajo)
2015	12	7,67	1,43	0,07	1,82	1,59	37,39	15,02	35,86	14,45	6,90	2,15	17,80	Perfil 6
2021	13	7,17	2,45	0,12	1,62	1,11	36,45	19,62	44,79	17,85	6,50	3,35	19,60	Perfil 5
	$\bar{X}$	6,76	2,61	0,13	8,72	1,62	25,57	8,80	42,90	25,55	9,51	9,98	56,54	
	CV	8,48	45,08	45,01	97,37	40,79	24,71	44,92	7,13	62,49	34,62	105,12	101,17	

### 5.1 El pH como indicador de fertilidad del suelo

El mapa (Figura 3) muestra el pH en los diferentes lotes, con base a la información de los últimos años. Los valores de pH cuya categoría es alto representan un 4.43 hectáreas 29.03 % considerando la concentración de hidroxilos  $[\text{OH}]^+$  superior a 8.4 según el rango.

Las categorías de pH medios representan el 68.41 % del área es decir tenemos un pH óptimo donde los procesos de mineralización de la materia orgánica deben ser dinámicos y buena disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de los cultivos, con las categorías bajo representa solamente el 2.56 % que equivalen a 0.39 hectáreas a como se muestra Véase Cuadro 2.

Cuadro 2. Interpretación de rangos, categorías de pH en el área.

Rangos unidades	Categoría	Área (Ha)	%
> 8.4	Alto	4.43	29.03
6.8 a 7.2	Medio	10.44	68.41
< 4	Bajo	0.39	2.56
	Total	15.27	100

Fuente propia.

Los resultados que se muestran en el Cuadro 1 e interpretación en el Cuadro 2 se relaciona al anexo 1 de la tabla de interpretación de pH Quintana (1983), determinan que el pH como indicador de la fertilidad, denota cambios sustanciales a través del tiempo debido al tipo de fertilización utilizada en los últimos años así como, asociada con la mala calidad del agua de riego que se utiliza para los cultivos.

Si el incremento del pH es progresivo a través del tiempo; a corto, mediano o largo plazo, ocasionará problemas de absorción de nutrientes lo que originará deficiencias de algunos macronutrientes, también en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Otra consecuencia sería en las cantidades y disponibilidad de los micros elementos como el hierro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno. Resultados similares de pH 7.1 fueron encontrados por Vogel, A. Acuña E (1994), en estudios de descripción de perfil realizados en la UEVP en el horizonte A de 0 a 15 cm de profundidad.

Los lotes con contenido bajos de niveles de pH, que representan el 2.56 % nos es una problemática acentuada, ya que se trata de un solo dato del año 2013, la cual se podrá corregir mediante la selección y manejo de la fertilización o enmiendas en base a los cultivos que se destinen en cada ciclo agrícola en base a la característica de cada lote.

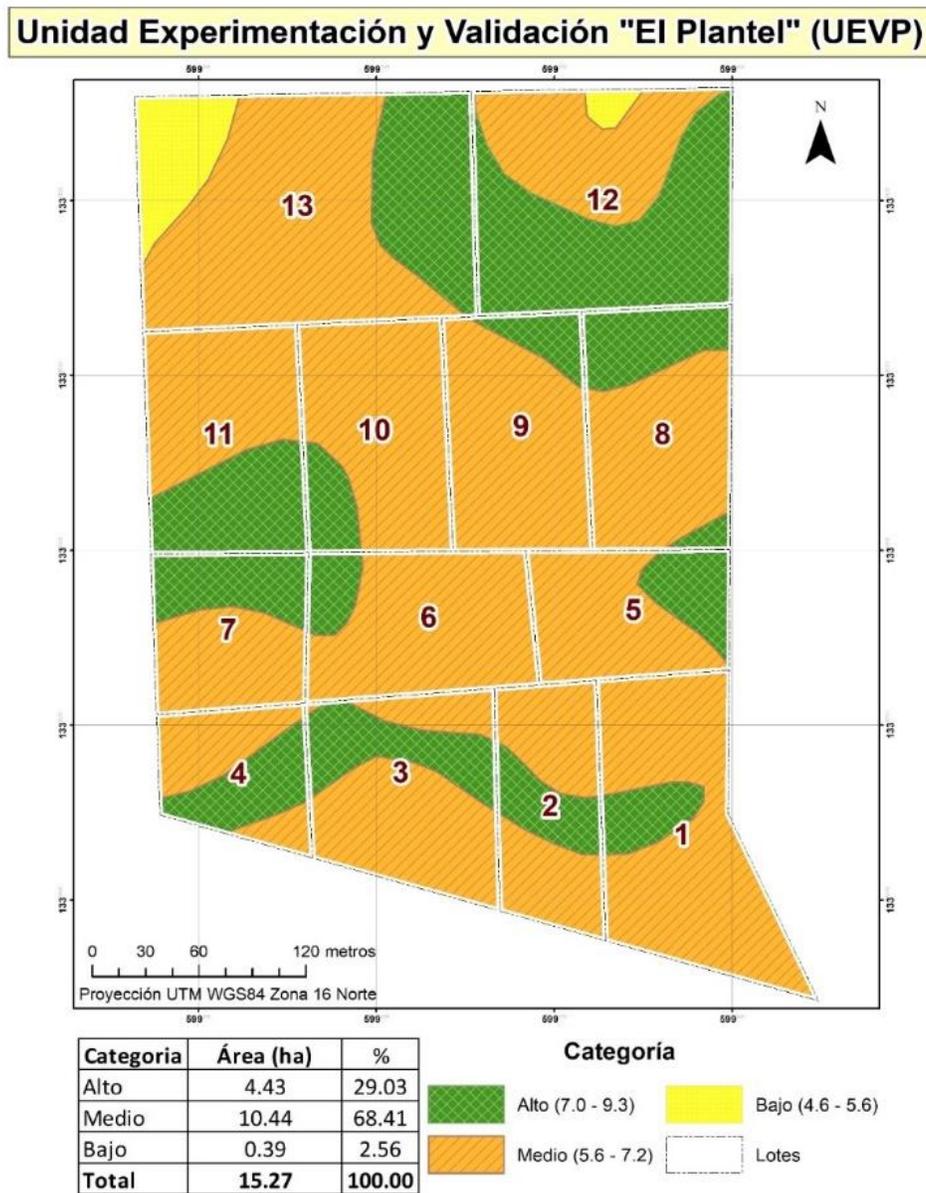


Figura 3. Mapa de categorías de pH en el área agrícola, UEVP, 2021

## **5.2 La materia orgánica como indicador de fertilidad del suelo.**

La materia orgánica según Fassbender, H. (1984), la constituyen todos los compuestos orgánicos de origen biológicos que se acumulan en la superficie del suelo, los factores como el pH, material parental, clima, y los micro organismos favorecen en suelos tropicales la tasa de descomposición de la materia orgánica, que aproximadamente es 5% anual, del total mineralizado donde las bacteria nitrificante son principalmente las que participan en el proceso, de transformación a nitrógeno disponible aproximadamente para suelos tropicales es de un 2%.

La información de los Cuadros 1 y 3 fueron el fundamento para construir el mapa digital de materia orgánica (Figura 4). Los resultados químicos del suelo en concepto de materia orgánica se clasifican como media en el rango de 2 a 4 % y representa el 47.79 % del área total en estudio. Resultados similares de contenidos medios de materia orgánica (3.81%) fueron encontrado por Vogel, A. Acuña E (1,994), en los estudios de descripción de perfil realizados en la UEVP en el horizonte A de 0 a 15 cm de profundidad.

Los bajos contenidos de materia orgánica se localizan en los cultivos anuales en los lotes 1,2,3,4,5,6,7, según Cuadro 1 y reflejado en la Figura 4, según la clasificación de la materia orgánica, no favoreciendo mucho de esta manera la actividad de los microorganismos del suelo, el área es de 34.93 % (Véase Cuadro 3).

La mineralización de la materia orgánica también es influenciada por la reacción del suelo, la velocidad de los procesos de momificación y nitrificación de compuestos sulfatados y fosforados son proporcionales al pH y estos procesos ocurren en su mejor forma bajo condiciones de pH neutros y disminuye si el pH disminuye también.

Sin embargo, los bajos contenidos de materia orgánica se reflejan en la poca actividad de los microorganismo del suelo y el uso de cultivos que dejan poco rastrojos sobre la superficie del suelo disminuyendo el proceso de descomposición, dejando un suelo con una frágil consistencia y propenso a factores degradativos por el impacto de la lluvia y el escurrimiento superficial dejando suelo poco fértil, con propiedades físicas y química degradadas.

Cuadro 3. Interpretación de rangos, categorías y área de la materia orgánica (%) en el área

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 4.0	Alto	2.64	17.28
2.0 a 4.0	Medio	7.30	47.79
< 2.0	Bajo	5.33	34.93
	Total	15.27	100 %

Fuente propia

La aplicación de (biofertilizantes, compost, lombrihumus, abonos verdes, estiércol vacuno) incrementa la materia orgánica así el, aporte de nutrientes, mejora las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo.

### Unidad Experimentación y Validación "El Plantel" (UEVP)

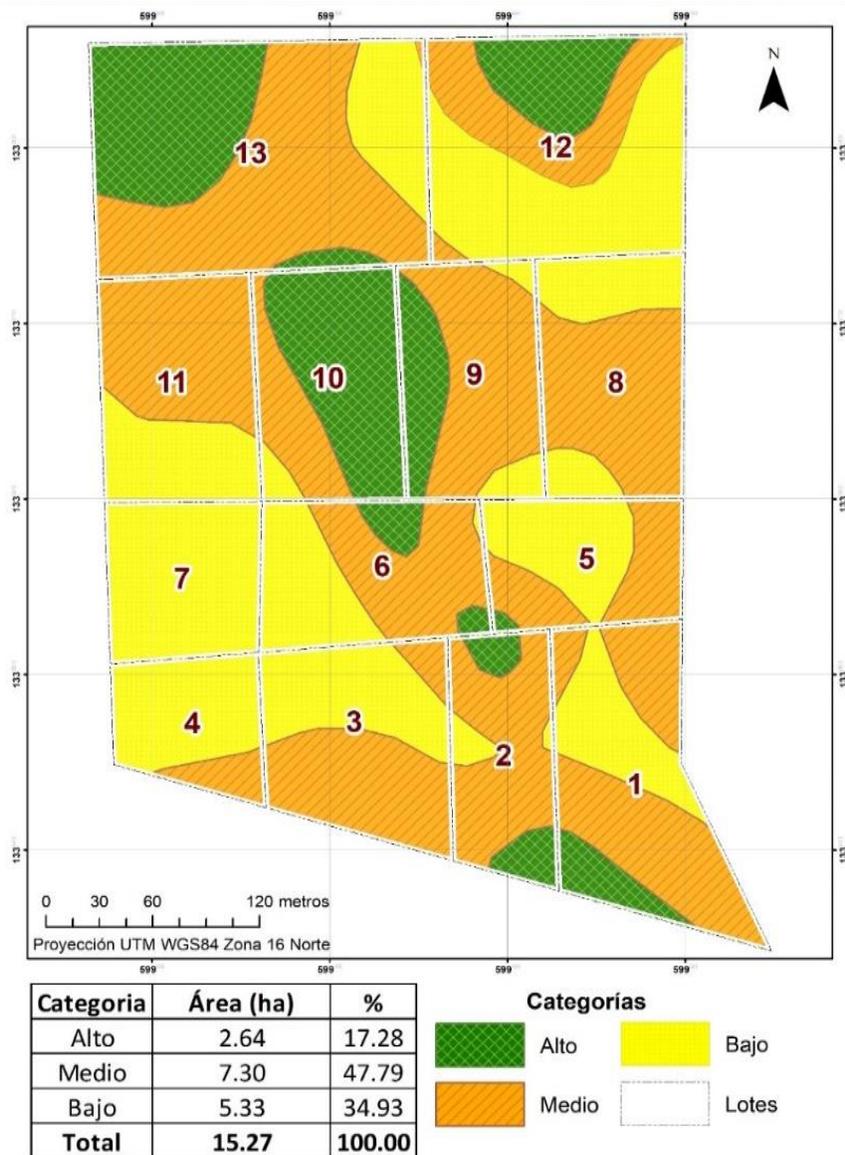


Figura 4. Mapa de categorías de materia orgánica (%) en el área agrícola. U EVP, 2021

### 5.3. El contenido de nitrógeno total como indicador de fertilidad del suelo.

El ciclo del nitrógeno en el suelo representa solamente una parte del ciclo total del nitrógeno en la naturaleza: la disponibilidad del elemento es de gran importancia para las plantas las que lo absorben como nitrato y amonio. Fassbender, H. (1984),

Se puede observar en el Cuadro 4 y la Figura 5 el contenido del nitrógeno total en los diferentes lotes con base a la información de los últimos años. Los valores de nitrógeno total cuya categoría es alta representa el 5.98 hectáreas (39.22 % ), localizándose en los lotes 6, 9, 10, 12 y 13 favorecido en parte por el pH, los contenidos medios de nitrógeno total que representan 6.52 hectáreas 42.69%, este tiene su participación en casi la totalidad de los lotes, los contenidos bajos de nitrógeno total que representan 2.76 hectáreas 18.11% los lotes 7 y 12 son los que tienen cubierto en su totalidad el área la baja concentración de este elemento.

Lo que está muy relacionado con el contenido de materia orgánica , véase Cuadro 4 de la materia orgánica los contenidos medios y bajos suman un 81 por ciento al igual que el nitrógeno total los contenidos medios y bajos suman el 60 por ciento del área.

Cuadro 4. Interpretación de rangos, categorías y área del nitrógeno total (%)

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 0.15	Alto	5.98	39.20
0.07 a 0.15	Medio	6.52	42.69
< 0.07	Bajo	2.76	18.11
	total	15.27	100.00

Fuente propia

El nitrógeno es un mineral importante para el desarrollo, crecimiento y floración de las plantas, su ausencia limita el desarrollo y vigorosidad de la planta y por ende la producción de granos y frutos.

El contenido de nitrógeno en suelos tropicales depende de la cantidad de materia orgánica, microorganismos, clima, pH, humedad, y material parental, cualquiera de estos factores puede ser limitante para el proceso de mineralización y aporte de nitrógeno en el suelo. En el área agrícola el nitrógeno medio y alto contempla el 81.89 % del área total es una condición

adecuada de este mineral para los cultivos según el Cuadro 3, por tanto, es importante establecer un mejor manejo para las 2.76 hectáreas con contenido de nitrógeno mineral que se transforman a compuestos nitrogenados como  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$  forma en que la planta lo puede absorber.

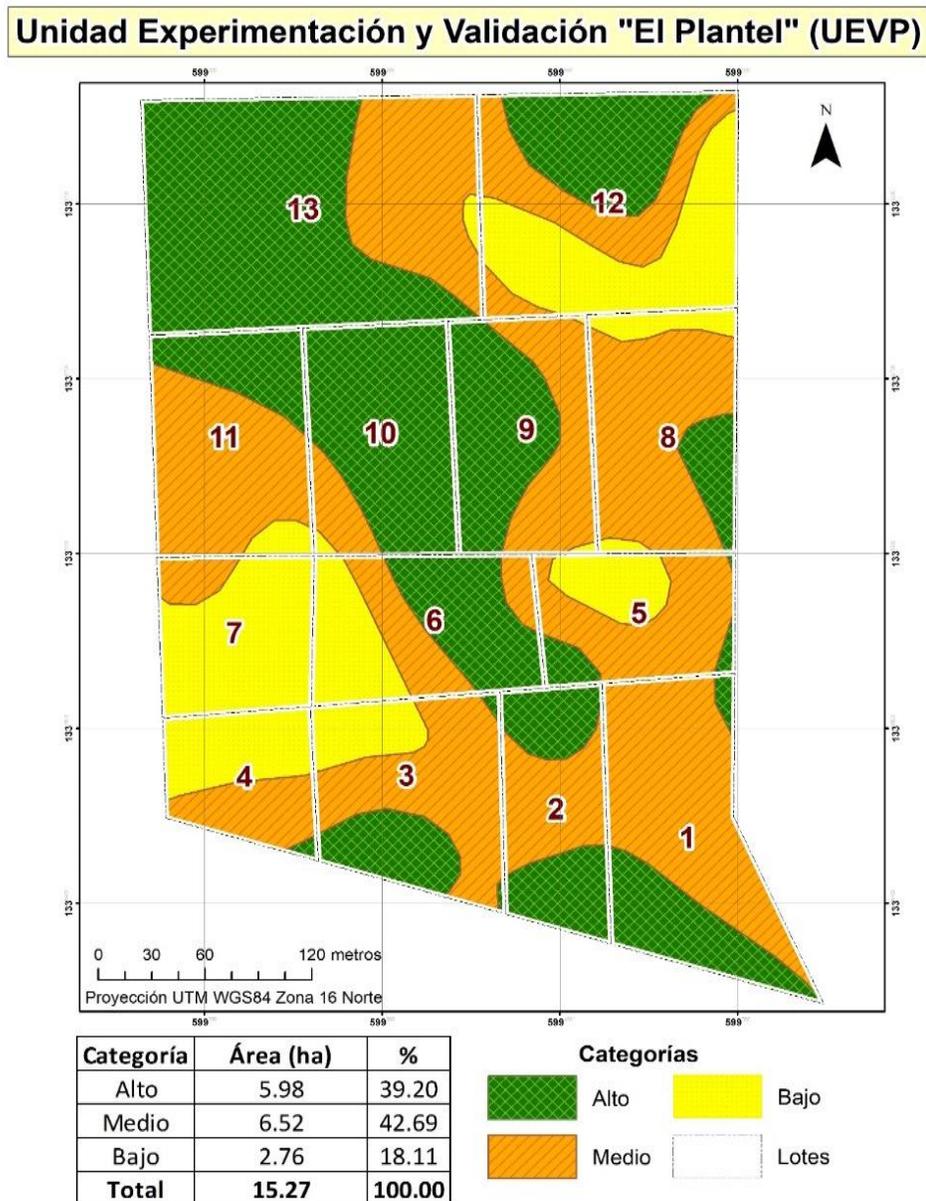


Figura 5. Mapa de distribución de categorías de nitrógeno total (%) en el área. UEVP, 2021

#### 5.4 El contenido de fósforo disponible como indicador de fertilidad del suelo.

El fósforo como mineral su contenido en los suelos tropicales es muy bajo y su disponibilidad depende en gran parte del pH del suelo: El fósforo disponible o lábil es el que se encuentra en la solución del suelo y es el que las plantas lo absorben para su nutrición en las formas solubles o asimilables, fosfatos básicos ( $H_2PO_4^{2-}$ ) para suelos ácidos, y fosfatos básicos ( $HPO_4^{2-}$ ), para suelos básicos.

En el mapa de la Figura 6 muestra la disponibilidad del fósforo en los diferentes lotes, con base a la información obtenida de los últimos años. Los valores de fósforo disponibles considerados altos véase Cuadro 5 representa 1.62 hectáreas, un 10.63% lotes 5, 6, y 8 no siendo homogénea la distribución en los lotes, los valores de fósforo disponibles considerados medio representan el 2.62 hectáreas, 17.15% y los valores de fósforo considerados bajos representa 11.02 hectáreas 72.21%, siendo este parámetro uno de los macroelementos que se encuentra en concentraciones menores en toda el área.

Cuadro 5. Interpretación de rangos, categoría y área de fósforo disponible (ppm) en el área.

Rango	Categoría	Área (Ha)	%
> 20	Alto	1.62	10.63
10 a 20	Medio	2.62	17.15
< 10	Bajo	11.02	72.21
	Total	15.27	100

Fuente propia

Los resultados encontrados de fósforo disponible en el área agrícola se asemejan a los encontrados por Vogel, A. Acuña E (1994), en los estudios de descripción de perfil realizados en la UEVP en el horizonte A de 0 a 15 cm de profundidad de 8 ppm de fosforo disponible.

El ion  $HPO_4^{2-}$  su absorción es favorecida en suelos con pH altos, su insolubilidad puede deberse al alto contenido de calcio y magnesio intercambiable que existe en toda el área, lo que lo convierte en un gran problema nutricional para las plantas, esta deficiencia traerá como resultado un incremento en los costos de producción ya que se tendrá que aplicar más fertilizante químico para suplir estas deficiencias.

La deficiencia de este elemento puede estar asociada al alto contenido de calcio y magnesio intercambiable, haciéndolo insoluble al formar fosfato de calcio  $Ca_3(PO_4)_2$  y fosfato de magnesio  $Mg_3^+(PO_4)_2$  generando un problema nutricional para las plantas el cultivo, esta deficiencia se corrige si se baja el pH al aplicar Nitrato de Amonio  $NH_4 NO_3$  ó Sulfato de Amonio  $(NH_4^+)_2 SO_4$ , la aplicación de materia orgánica también contribuiría con el aporte de ácidos húmicos y fúlvicos en su proceso de mineralización

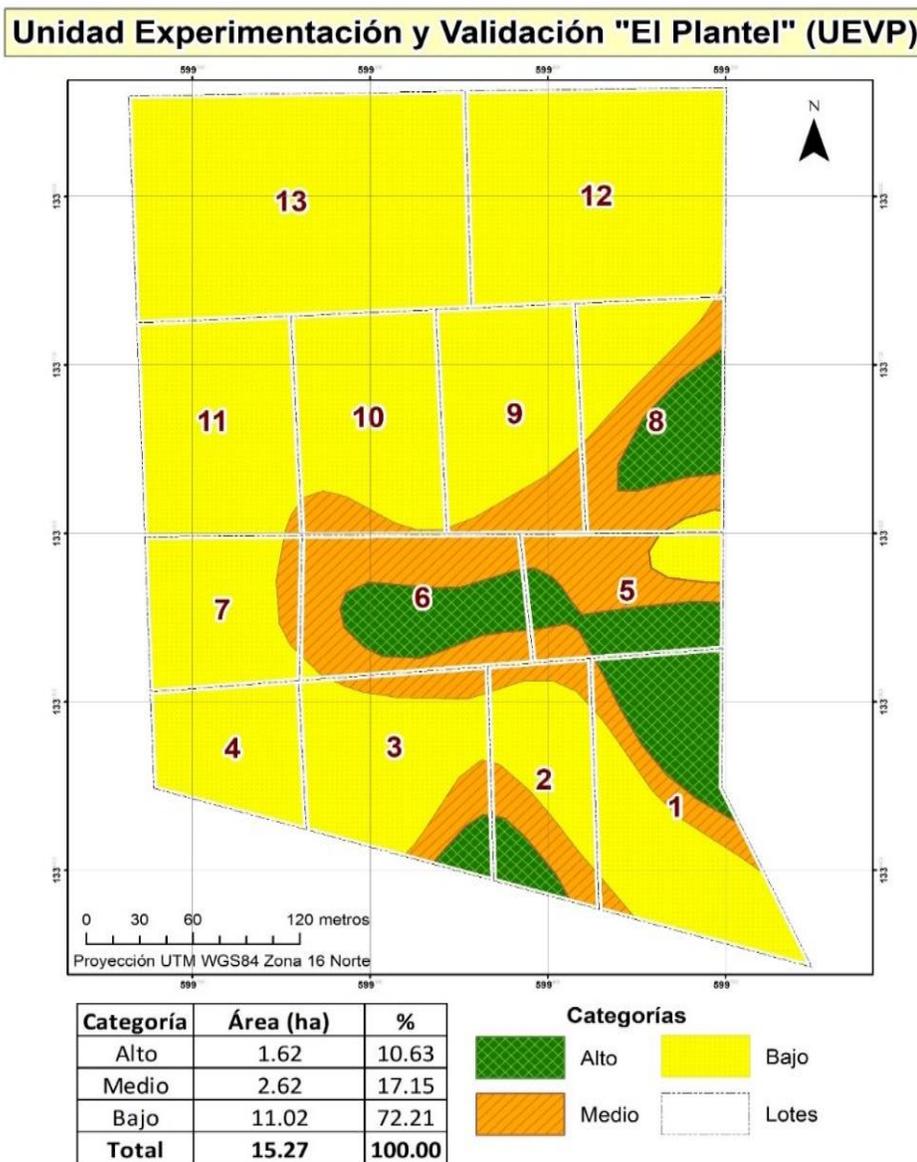


Figura 6. Mapa de distribución de las categorías de fósforo (ppm) en el área. UEVP, 2021

### 5.5 El contenido de potasio disponible como indicador de fertilidad del suelo.

El potasio disponible es uno de los minerales que puede encontrar en la naturaleza formando parte de los suelos tropicales de origen volcánicos formando parte de su estructura en las arcillas montmorillonita y vermiculitas, como parte de la estructura en la planta, en época de escasez de agua, regula la apertura y cierre de las estomas regulando de esta manera la transpiración evitando el estrés hídrico de las plantas.

El mapa de la Figura 7, y Cuadro 6 muestra la contenido del potasio disponible en los diferentes lotes en base a la información de los últimos años .Los valores cuya categoría es alto representan 15.15 hectáreas 99.24% , la categoría de potasio disponible medio representa 0.06 hectáreas, 0.36%, y la categoría de potasio disponible baja representa 0.06 hectáreas 0.40% , observando que en toda el área se encuentra distribuido homogéneamente el potasio disponible, presentando un antagonismo con el fósforo disponible, y el nitrógeno, no permitiendo de esta manera su absorción de ninguno de los dos macro elementos .

Cuadro 6. Interpretación de rangos, categorías y área de potasio disponible (meq/100 g suelos) en el área.

Rangos	Categoría	Área/Ha	%
>0.3	Alto	15.15	99.24
0.2 a 0.3	Medio	0.06	0.36
<0.2	Bajo	0.06	0.40
	Total	15.27	100

Fuente propia

Los contenidos encontrados de potasio disponible superan 9 veces más la categoría alta (Ver Cuadro 1), de 0.30 meq/100 g de suelos de potasio, lo que hace que exista potasio rápidamente asimilable y suficiente disponibilidad de intercambio entre los coloides y la solución del suelo.

Valores similares fueron encontrados por Vogel, A. Acuña, E (1994), en los estudios de descripción de perfil realizados en la UEVP en el horizonte A de 0 a 15 cm de profundidad donde se encontró 2.3 meq/100gr de K como potasio intercambiable lo que representa el 90 % del K total en el suelo, niveles excesivos de potasio causan antagonismo con el calcio y

magnesio que lleva a deficiencias al no absorber las plantas el calcio y magnesio. No existe toxicidad por potasio como tal.

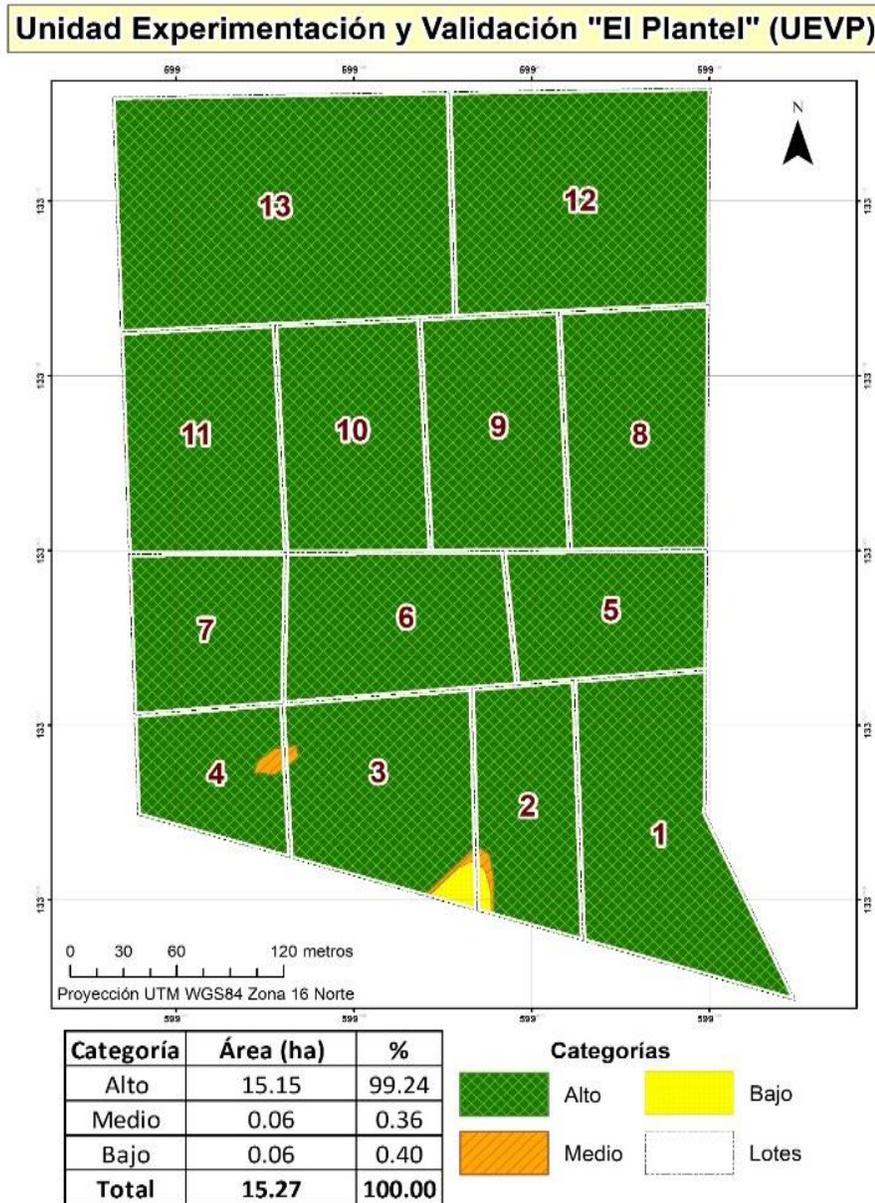


Figura 7. Mapa de distribución de las categorías de potasio (meq/100 g suelos) en el área. UEVP, 2021

## 5.6 El contenido de calcio intercambiable como indicador de la fertilidad en el suelo.

El calcio es muy importante para las plantas ya que participa en procesos de alargamiento de las células, regulación de las estomas, forma parte de la estructura de la pared celular. Las plantas lo absorben como ión ( $Ca^{+2}$ ). Al suelo proveen de calcio las plagioclasas feldespáticas en los minerales primarios y entre las arcillas la calcita ó caliza ( $Ca^{+}CO_3^{-}$ ), y la dolomita ( $Ca^{+}CO_3^{-}$ ). ( $Mg^{+}CO_3^{-}$ ).

El mapa de calcio intercambiable de la Figura 8, y Cuadro 7 muestra la disponibilidad del calcio intercambiable en los diferentes lotes con base a la información de los últimos años. Los valores con categoría alta representan 15.20 hectáreas (99.54%), con categoría media representa 0.06 hectáreas, 0.40%, y categoría baja representa 0.06 hectáreas 0.06%, observando que en toda el área se encuentra distribuido homogéneamente el calcio intercambiable, su absorción por las plantas disminuye al encontrar altas concentraciones de potasio y magnesio en la solución del suelo.

Cuadro 7. Interpretación de rangos, y categorías del contenido de calcio intercambiable (meq/100 g suelos) en el área.

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 5.5	Alto	15.20	99.54
2.5 a 5.5	Medio	0.06	0.4.
< 2.5	Bajo	0.01	0.06
	Total	15.27	100

Fuente propia

Se puede observar en el mapa véase Figura 8, cómo está distribuido el contenido de calcio intercambiable en el área. El valor máximo 43.51 meq/100 g encontrado en los resultados de los análisis de suelos (Véase Cuadro 1), supera casi en 7.9 veces el rango de la categoría alta en la clasificación (5.5), su alta concentración encontrada en el suelo del calcio contribuye a la formación química del fosfato de calcio ( $Ca^{+}PO_4^{-}$ ), que hace insoluble al fósforo. Por tanto, no es aprovechado por el cultivo. Como parte a la solución a esta condición estaría en establecer leguminosas que sean exigente en calcio para la formación de los nódulos y la fijación del nitrógeno atmosférico.

## Unidad Experimentación y Validación "El Platel" (UEVP)

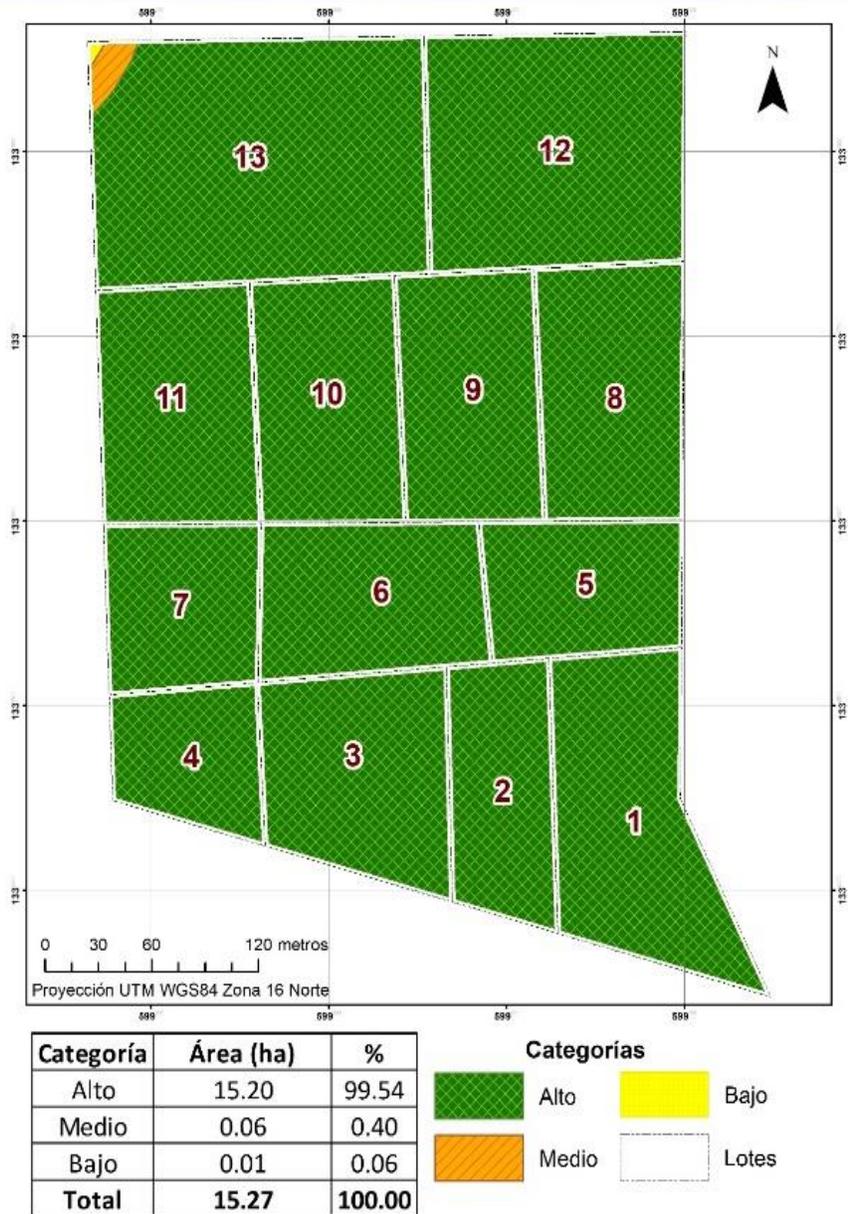


Figura 8. Mapa de distribución de las categorías de calcio (meq/100 g suelos) en el área. UEVP, 2021

### 5.7 El contenido de magnesio intercambiable como indicador de la fertilidad en el suelo.

El contenido de magnesio está relacionado con el grado de meteorización que ha sufrido el material parental. Las fuentes que proveen de magnesio al suelo son la biotita hornablenda, olivino entre otras como minerales primarios, y la clorita, vermiculita, montmorillonita como minerales secundarios, la magnesita ( $Mg^{+}CO_{3}^{-}$ ) y la dolomita ( $Ca^{+}CO_{3}^{-}$ ). ( $Mg^{+}CO_{3}^{-}$ ).

Su función esencial es constituyente de la molécula de la clorofila y es absorbida por las plantas como ión  $Mg^{+2}$ . El mapa de la Figura 9, y Cuadro 8, muestra la disponibilidad del magnesio intercambiable en los diferentes lotes. Los valores con categoría alta representan 14.81 hectáreas (97.04%), la categoría media representa 0.07 hectáreas (0.47%), y la categoría baja representa 0.38 hectáreas (2.49%) observando una distribución homogénea en el suelo con altas concentración. Esto puede causar una interferencia en la absorción del magnesio, por el antagonismo del calcio y el magnesio.

Cuadro 8. Interpretación de rangos, categorías y área del contenido de magnesio intercambiable (meq/100 g suelos) en el área.

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 1.0	Alto	15.20	97.04
0.3 a 1.0	Medio	0.06	0.4.
< 0.3	Bajo	0.01	0.06
	Total	15.27	100

Fuente propia

Al igual que el calcio, en el análisis químico el valor máximo encontrado en los resultados de suelos, véase Cuadro 1 supera en dieciocho veces el contenido de la categoría alta. Su alta concentración forma con el fósforo, una estructura química denominada fosfatos de magnesio ( $Mg^{+}PO_{4}^{-}$ ), que es una forma insoluble del fósforo. Esto sucede cuando el fósforo es aplicado al suelo como fertilizante.

## Unidad Experimentación y Validación "El Plantel" (UEVP)

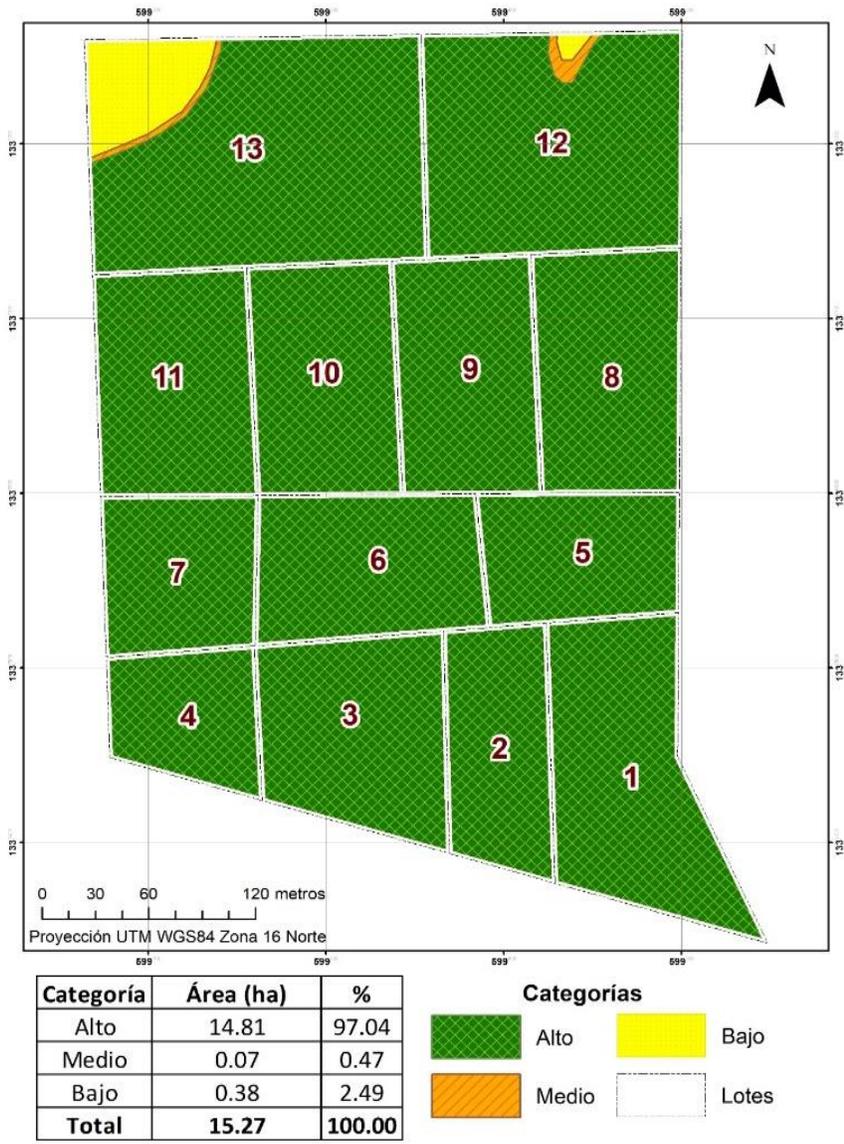


Figura 9. Mapa de distribución de las categorías de magnesio (meq/100g suelos) en el área. UEVP, 2021

### 5.8 Capacidad de intercambio catiónico como indicador de la fertilidad de suelo.

Es una propiedad química que designa los procesos de adsorción de cationes por el complejo arcillo húmico y de la liberación de cationes del complejo de cambio hacía la solución del suelo. Su propiedad es atribuible a la arcilla (colóide mineral) y el humus (colóide orgánico), la CIC se define por la cantidad y tipo de arcilla, la cantidad de materia orgánica (humus), contenidas en el suelo.

El mapa de la Figura 10 y Cuadro 9, se muestran la distribución en el área de la capacidad de intercambio de cationes con base a la información de los últimos años. Los valores con categoría alta representan 8.56 hectáreas (56.08%), la categoría media son 6.70 hectáreas (43.91%). Se puede observar en la Figura 10 que la distribución del contenido en su mayor parte son medios y altos, no existen valores bajos lo que equivale a decir que la capacidad de intercambio de cationes en el área de estudio es alta.

Cuadro 9. Interpretación de rangos, categorías y área de la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g suelos) en el área.

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 40	Alto	8.56	56.08
15 a 40	Medio	6.70	43.91
< 15	Bajo	0.00	0.00
	Total	15.27	100

Fuente propia

Existe una relación directa entre el pH, contenido de las bases intercambiable y el contenido de materia orgánica, con la CIC entre mayor es el pH, mayor es la capacidad de carga negativas para retener e intercambiar cationes con la solución del suelo. En el cuadro 1 se muestra los contenidos de las bases intercambiables de: calcio, magnesio, potasio, con categoría alto. Valores similares fueron encontrados por Vogel, A. Acuña, E (1994), con valores de 53.3 meq/100g de CIC. Así mismo en el estudio realizado por C, Prat. Quantin, P (1985-1991), se encontraron valores que en la composición morfogenética del talpetate la CIC tiene valores de 20 a 40 meq/100 g, para condiciones de clima seco bien marcada.

### Unidad Experimentación y Validación "El Plantel" (UEVP)

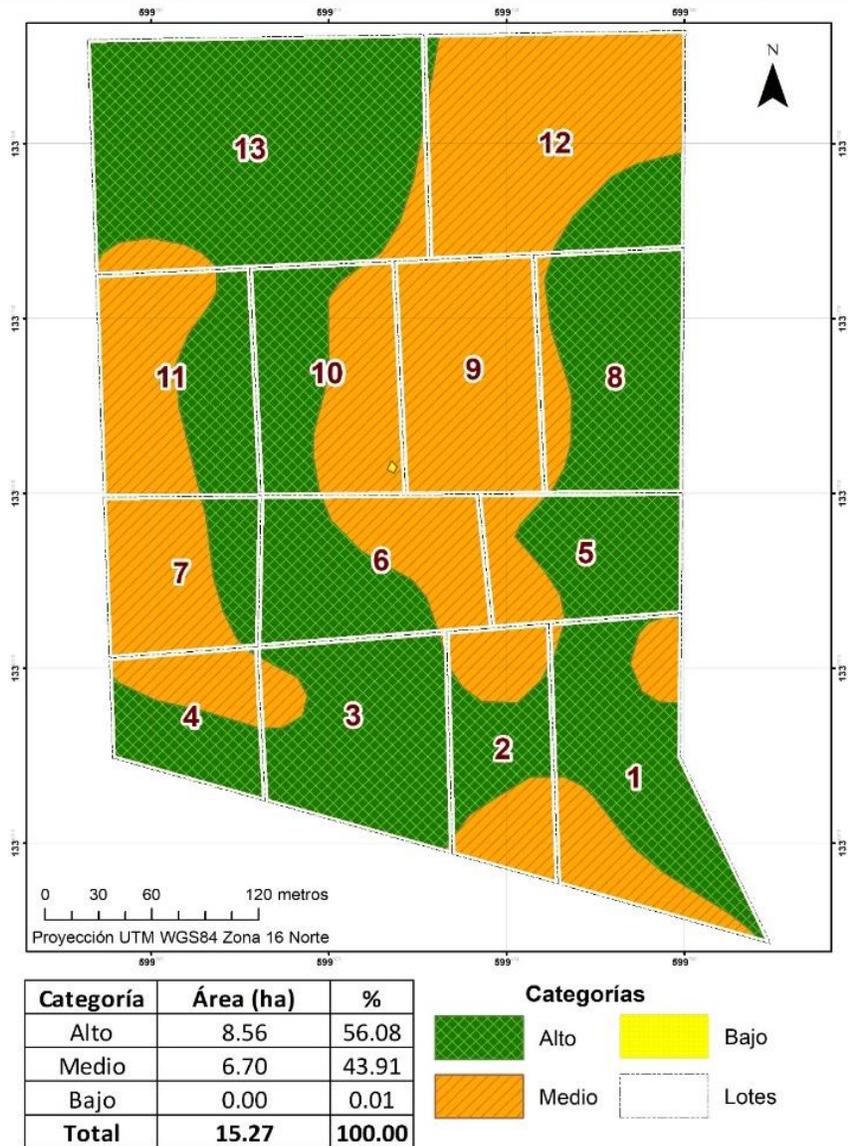


Figura 10. Mapa distribución de las categorías de CIC (meq/100g Suelos) en el área. UEVP, 2021

### 5.9. El contenido de hierro disponible como elemento de la fertilidad en el suelo

El hierro lo proporciona los minerales primarios del suelo, es poco móvil en el suelo, es un activador de la síntesis de la clorofila y las proteínas, es absorbido por las plantas como ión ferroso  $Fe^{+2}$  y férrico, ( $Fe^{+3}$ ), la forma reducida ( $Fe^{+2}$ ) predomina en suelos mal drenados deficiente en aireación, y la forma oxidada ( $Fe^{+3}$ ) en suelos bien drenados. La absorción de hierro disminuye si hay altas concentraciones de: cobre, cinc, manganeso y calcio, es primordial para las leguminosas en la fijación de nitrógeno atmosférico.

El mapa de la Figura 11 y Cuadro 10, muestran la distribución del hierro disponible con base a la información de los últimos años. Los valores con categoría alta representan 9.15 hectáreas (59.91%), En el estudio realizado por C, Prat. Quantin, P 1985-1991, se encontraron valores que en la composición morfofénica del talpetate en su estructura se encuentra contenidos altos de hierro, y su pH es neutro

Cuadro 10. Interpretación de rangos, categorías y área del hierro disponible (ppm) en el área.

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 21	Alto	9.15	59.91
16 a 21	Medio	4.89	32.04
< 5	Bajo	1.23	8.05
	Total	15.27	100

Fuente propia

En la Figura 11 el 91.95 % del área en estudio tiene valores con categorías de altos a medios de hierro, esta presencia se debe a que el hierro forma parte de la estructura del talpetate en la formación del sesquióxido de hierro.

### Unidad Experimentación y Validación "El Plantel" (UEVP)

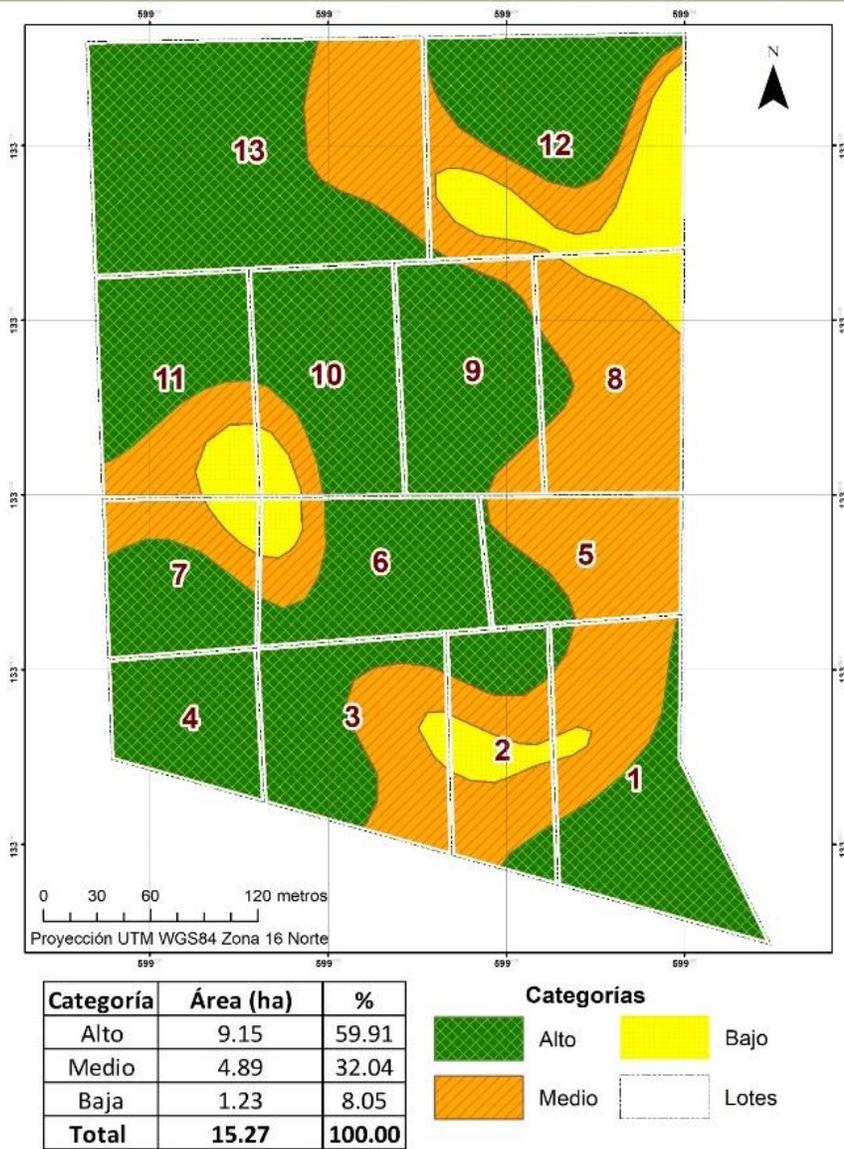


Figura 11. Mapa distribución de las categorías de hierro (ppm) en el área. UEVP, 2021

### 5.10 El contenido de manganeso disponible como elemento de la fertilidad en el suelo

El manganeso al igual que los otros micros nutrientes como: hierro, cobre, cinc proporcionan los minerales primarios del suelo, son poco móvil, actúa como catalizador en las oxidaciones, reducciones, participa en la fotosíntesis y síntesis de proteínas. Así mismo, participa en la formación del ácido ascórbico (vitamina C), es absorbido por las plantas como ión  $Mn^{+2}$ , su absorción por las plantas disminuye si en la solución del suelo hay altas concentraciones de potasio, calcio, magnesio, cobre y zinc.

El mapa de la Figura 12 y Cuadro 11, muestra la distribución del contenido de manganeso disponible. Los valores con categoría alta representan 11.59 hectáreas (75.93%), la categoría media representa 1.31 hectáreas (8.60%) y categoría baja representa 2.36 hectáreas (15.47 %). Los valores con categorías de altos a medio equivalen a 84.53 % del área total.

Cuadro 11. Interpretación de rangos y categorías y área del manganeso disponible (ppm)

Rangos	Categoría	Área (Ha)	%
> 8	Alto	11.59	75.93
6 a 8	Medio	1.31	8.60
< 2	Bajo	2.36	15.47
	Total	15.27	100

Fuente propia

Dentro de los resultados se encuentran valores bajos de 0.50 ppm y altos de 201.15 ppm, Su disponibilidad se encuentra en la mayor parte del área, su concentración es alta a pesar de que el pH es ligeramente alcalino.

Se podría considerar que la variabilidad del microelemento como el manganeso, es desconocida, debido a la poca movilidad del mineral, pero su presencia podría ser a la aplicación del micronutriente vía foliar a los cultivos durante el tiempo de registro de las muestras.

**Unidad Experimentación y Validación "El Platel" (UEVP)**

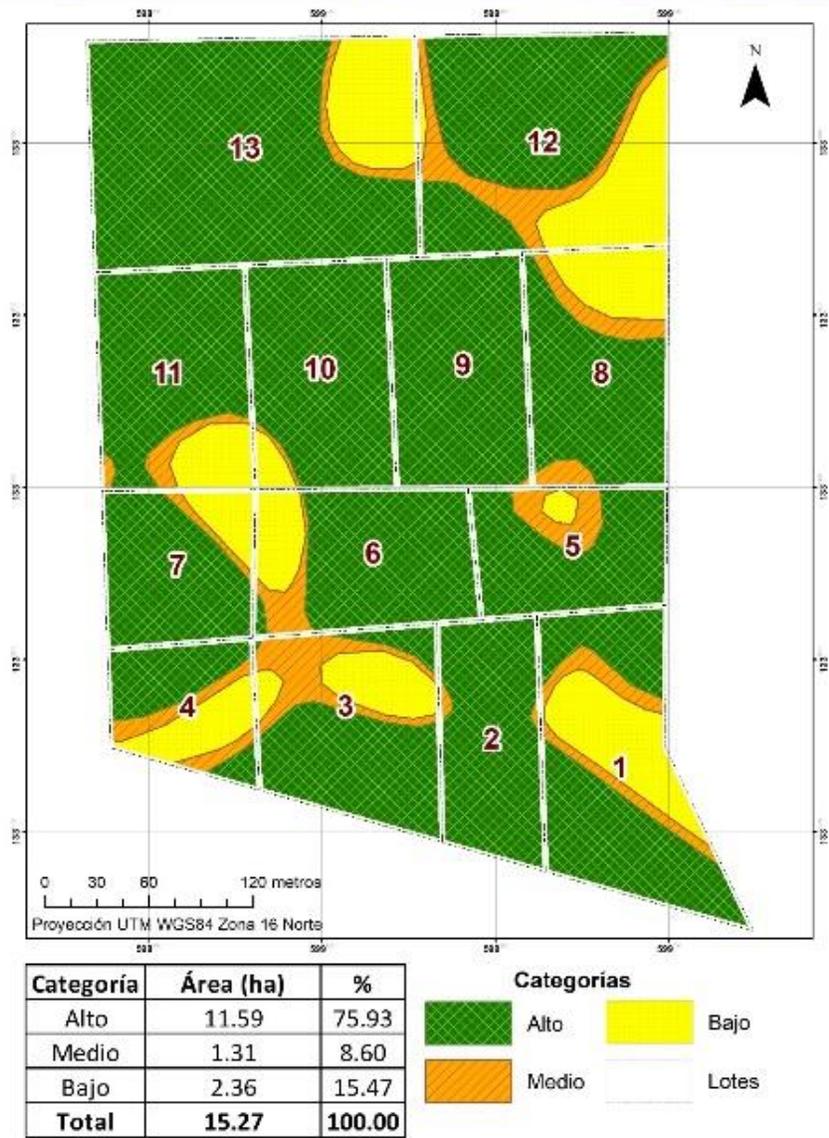


Figura 12. Mapa de distribución de categorías de manganeso (ppm). UEVP, 2021

### 5.11 El contenido de cobre disponible como elemento de la fertilidad en el suelo

El cobre al igual que el hierro lo proporcionan los minerales primarios del suelo es poco móvil, participa en la fotosíntesis y en el proceso de respiración, su acción es enzimáticas, es absorbido como ión cúprico  $Cu^{+2}$  o cuproso  $Cu^{+1}$ , su absorción disminuye si en la solución del suelo existen altas concentraciones de fósforo, molibdeno y zinc, este cambia su Valencia por mecanismos de oxidación y reducción, este proceso contribuye a la formación de la lignina y la melanina.

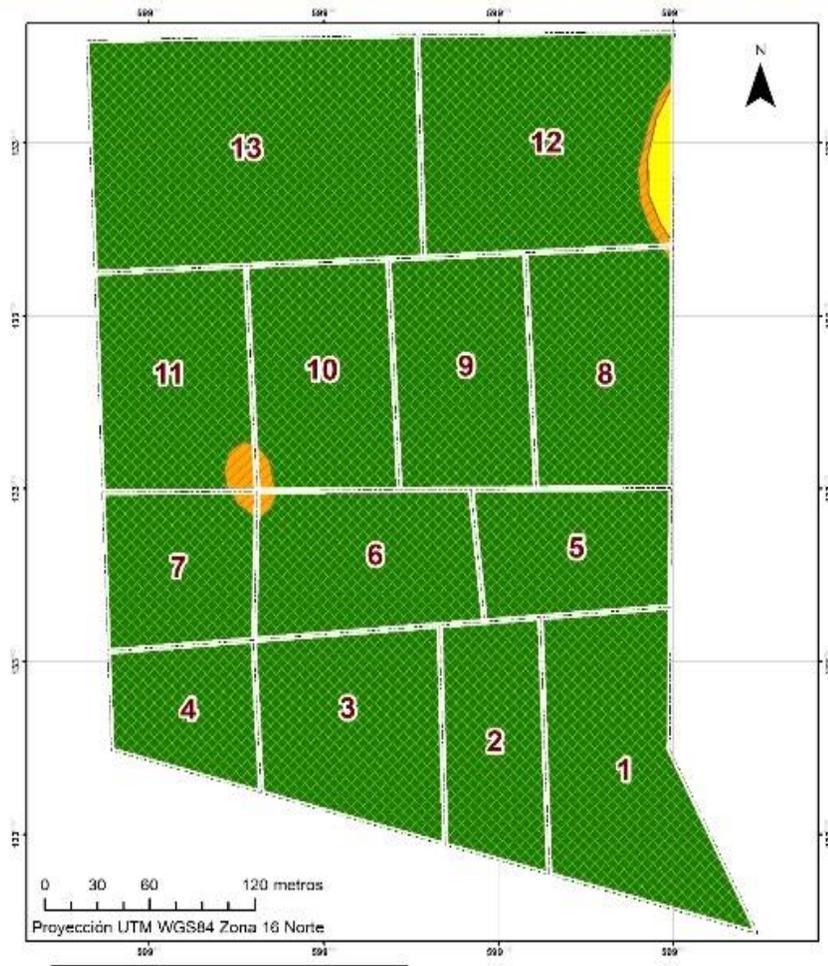
El mapa de la Figura 13, muestra la distribución en el área del cobre disponible con base a la información de los últimos años cuadro 12. La categoría alto representa 15.02 hectáreas (98.42%), la categoría media representa el 0.15 hectáreas (0.98%), y la categoría baja representa 0.09 hectáreas (0.61 %), observándose que se encuentra en la totalidad del área. Es importante señalar su contenido alto a pesar de que el pH es ligeramente alcalino.

Cuadro 12. Interpretación de rangos, categorías y área del cobre disponible (ppm) en el área.

Rangos	Categoría	Área/Ha	%
> 3.0	Alto	15.02	98.42
1.5 a 2.2	Medio	0.15	0.98
< 0.2	Bajo	0.09	0.61
	Total	15.27	100

Fuente propia

**Unidad Experimentación y Validación "El Platel" (UEVP)**



Categoría	Área (ha)	%
Alto	15.02	98.42
Medio	0.15	0.98
Bajo	0.09	0.61
<b>Total</b>	<b>15.27</b>	<b>100.00</b>

Categorías			
	Alto		Bajo
	Medio		Lotes

Figura 13. Mapa de distribución de las categorías de cobre (ppm) en el área. UEVP, 2021

### 5.12 El zinc disponible como elemento de la fertilidad en el suelo.

El zinc al igual que el hierro, y manganeso los proporcionan los minerales primarios del suelo, es poco absorbido, por las plantas. Lo requieren en pocas cantidades. Si existen altas cantidades de fósforo disminuye la absorción del zinc, regula las actividades metabólicas en las plantas, es absorbido por las plantas como ión  $Zn^{+2}$ , no se oxida ni se reduce es estable como el hierro y el manganeso, participa en la síntesis de auxinas, para aumentar el volumen celular en las plantas.

El mapa de la (Figura 14), muestra la distribución del zinc dentro del área en estudio y su contenido en el (Cuadro 13). Los valores con categoría alta representan 7.46 hectáreas (48.92%), la categoría media representa 2.52 hectáreas (16.53%), y categoría baja representa 5.27 hectáreas (34.55 %). El (Cuadro 13) demuestra que existe un buen porcentaje del área que tiene deficiencia del contenido de zinc de medio a bajo, existiendo la necesidad de establecer un manejo adecuado de la fertilización del elemento zinc dentro del área agrícola.

Cuadro 13. Interpretación de rangos, categorías y área del contenido de zinc disponible (ppm)

Rangos	Categoría	Área/Ha	%
> 4.2	Alto	7.46	48.92
2.1 a 4.2	Medio	2.52	16.53
< 1.0	Bajo	5.27	34.55
	Total	15.27	100

Fuente propia

Comparándolo en el tiempo se encontraron valores altos de zinc de 32.50 ppm en el año 2017 y valores mínimos de 1.25 ppm en el año 2021, lo que nos indica que ha habido una drástica disminución en un lapso de cuatro años, siendo el único microelemento que se presenta deficiente dentro del área agrícola.

### Unidad Experimentación y Validación "El Plantel" (UEVP)

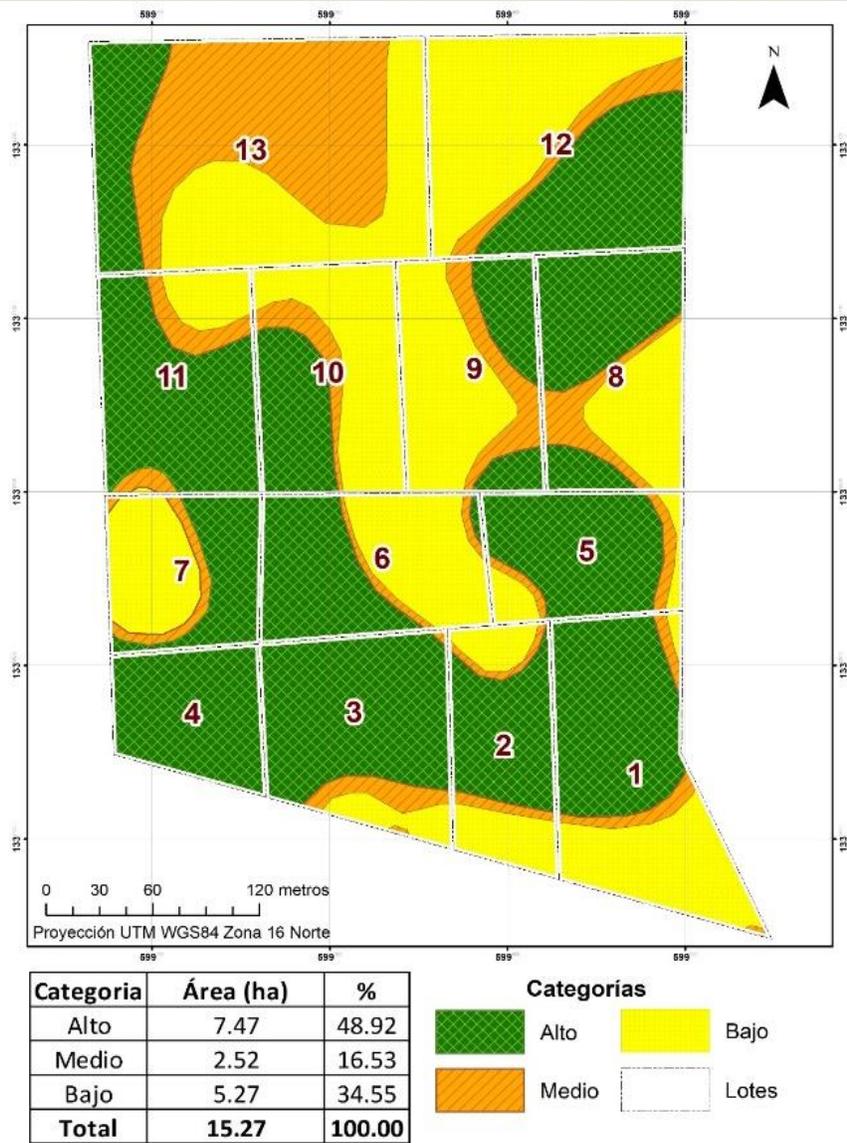


Figura 14. Mapa de distribución de las categorías de zinc (ppm) en el área. UEVP, 2021

### **5.13 Mapa de fertilidad de suelos de la UEVP.**

Los mapas digitales de los macros y micros nutrientes nos permiten el diseño del mapa de fertilidad del área agrícola Figura 15, resaltando la categoría media como la más dominante del área con 12.97 hectáreas (84.97 %) y fertilidad baja 1.57 hectáreas (10.26%) y categoría con contenido alto 0.73 hectáreas (4.77%).

La fertilidad media es aprovechable ya que permitirá con un adecuado manejo agronómico elevar su fertilidad, al incorporar de manera rotativa por lote el incremento de la materia orgánica, con el uso de la maquinaria, esto permitirá a mediano y largo plazo mejorar la estructura la formación de agregados más estables, retención de humedad y la resistencia a la erosión del suelo.

La fertilidad media es un buen indicador en relación; a que los otros minerales del suelo en contenidos bajo sea disponible para el cultivo, su absorción por el cultivo para mejorar el desarrollo, crecimiento, calidad del producto e incrementar los rendimientos de los cultivos en cada lote.

El reconocimiento de la fertilidad media en el campo agrícola nos permite a corto plazo incorporar una agricultura de precisión para cada uno de los lotes, tomando en consideración la incorporación de los planes de fertilidad para toda el área o bien para cada lote en particular en base a las demanda y necesidades del cultivo a establecer dentro del estudio.

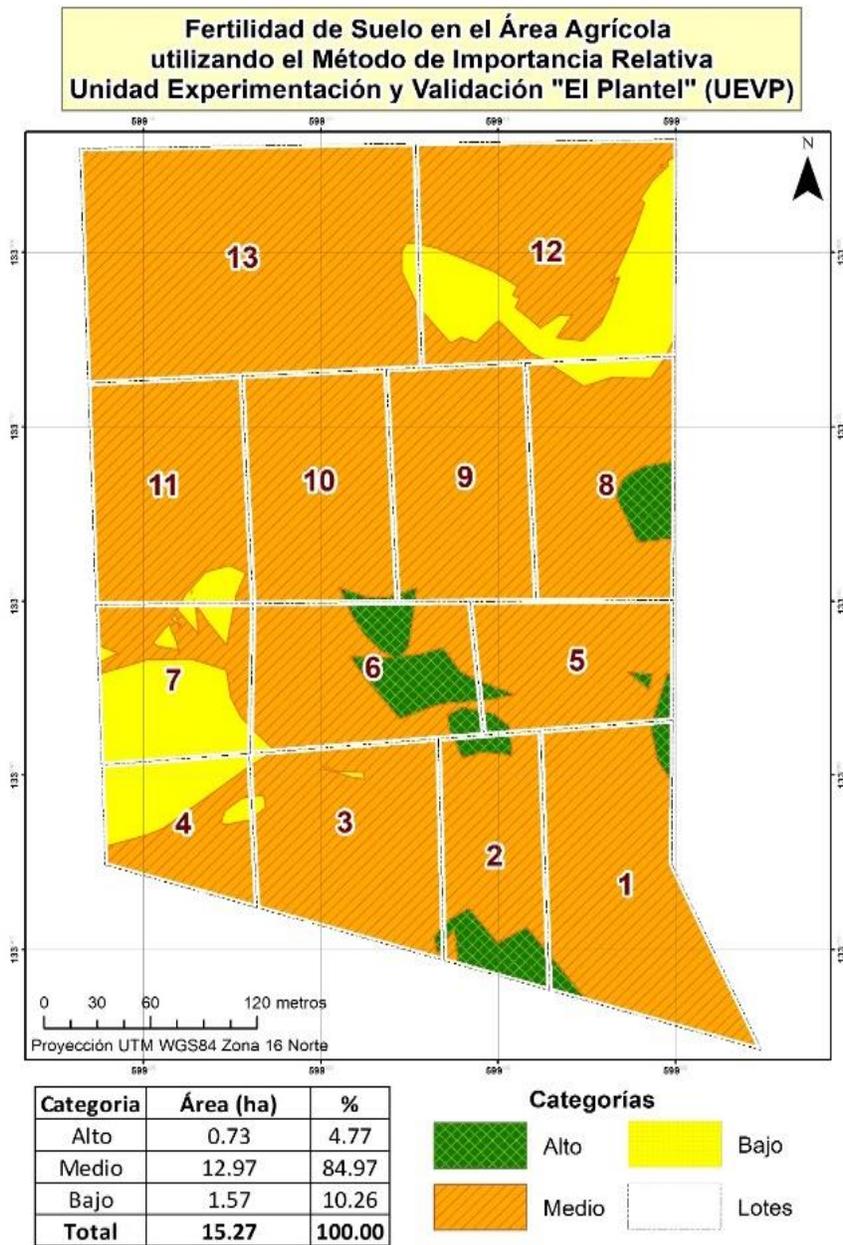


Figura 15. Mapa de distribución de las categorías de fertilidad de suelo en el área. UEVP, 2021

## **6. Planes de fertilización**

Los planes de fertilización es una herramienta importante que tienen los agrónomos para el manejo de los cultivos en los aspectos de suelo, agua, control de arvences y el suministro de fertilizantes sean orgánicos e inorgánicos. En este caso con base a los análisis químicos de suelos, es a partir de esto que se logran interpretar la deficiencia o suficiencia de nutrientes en el suelo. Junto a la demanda de los cultivos se estima las dosis a ser aplicada para obtener rendimientos óptimos.

La elaboración de esta herramienta inicia, con el conocimiento de la información del análisis químico del suelo, el cálculo de los promedios existente de los macros y micronutrientes del suelo de los lotes específico, y el cultivo a establecer (Véase Cuadro 14). Además de lo anterior se requirió de algunas características del suelo como: calculó del peso de la hectárea surco, dosis de nitrógeno basado en el contenido del porcentaje de materia orgánica (Véase Anexo 3), y hoja de cálculo de Excel (Ver Anexo 5) y de los contenidos en el suelo de fósforo y potasio calculado en hoja Excel (Anexo 6 y 7). También se requirió de la absorción de nutrientes o requerimiento de cada uno de los cultivos, basado en rendimiento. (Ver anexo 4).

Obteniendo finalmente los resultados de los planes de fertilización de nitrógeno, fósforo y potasio través de una hoja de cálculos en Excel como está establecido en el cuadro resumen (Ver Cuadro 15). Los cálculos completos y el paso a paso en la hoja Excel se podrán observar en los (Anexos 5, 6 y 7), la dosis encontrada junto con los requerimientos de los cultivos seleccionados, la fuente, momento y forma de aplicación se encuentran en el resumen de los planes de fertilización de los cultivos, (Ver Cuadro 18).

Cuadro 14. Valores promedio de los resultados de análisis químicos de macro y micros nutrientes del suelo por lote del área agrícola de la UEVP (2020).

Año	Lote	pH	MO	N	P	K disp	Ca	Mg	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn	Cultivo
		H <sub>2</sub> O	%	ppm	meq/100 g suelo				ppm					
2015	1	6,23	2,62	0,13	4,81	1,34	25,17	6,49	44,02	51,40	15,20	1,75	22,55	Papaya
2017	1	6,74	1,91	0,10	35,67	2,09	22,63	7,48	41,55	10,90	6,45	18,20	2,00	Papaya
Promedio		6,49	2,27	0,12	20,24	1,71	23,90	6,99	42,79	31,15	10,83	9,98	12,28	
2015	2	6,57	3,91	0,20	4,93	2,00	21,88	6,45	34,56	31,20	12,60	1,85	87,75	Maíz
2017	2	7,46	1,97	0,10	4,08	1,26	14,85	3,41	42,99	6,80	6,45	23,40	1,20	
2017	2	6,30	1,76	0,09	13,24	2,31	20,74	7,75	44,02	11,70	7,45	22,10	1,00	
Promedio		6,78	2,55	0,13	7,42	1,86	19,16	5,87	40,52	16,57	8,83	15,78	29,98	
2015	3	6,57	3,91	0,20	4,93	2,00	21,88	6,45	34,56	31,20	12,60	1,85	87,75	Sorgo
2017	3	7,35	1,91	0,10	7,44	1,15	21,62	5,81	44,22	6,60	5,95	19,60	0,50	
2017	3	6,85	2,79	0,14	21,92	0,34	30,44	9,80	43,99	10,30	6,80	3,30	128,20	
Promedio		6,92	2,87	0,15	11,43	1,16	24,65	7,35	40,92	16,03	8,45	8,25	72,15	
2015	6	6,25	0,60	0,03	4,75	2,04	26,01	8,26	36,66	44,80	14,20	2,05	102,35	Plátano
2013	6	6,25	2,86	0,14	23,80	2,04	26,49	10,22	44,20	44,80	14,20	2,05	102,35	
Promedio		6,25	1,73	0,09	14,28	2,04	26,25	9,24	40,43	44,80	14,20	2,05	102,35	
2017	7	7,34	1,81	0,09	15,34	1,98	22,65	6,79	44,84	7,30	6,45	22,00	1,00	sorgo
2013	8	6,25	2,86	0,14	23,80	1,59	26,49	10,22	44,20	14,45	6,90	2,15	17,80	sorgo
2017	8	7,28	1,97	0,10	6,80	2,14	15,47	8,90	44,43	9,40	6,95	23,40	1,10	
Promedio		6,77	2,41	0,12	15,30	1,87	20,98	9,56	44,32	11,93	6,93	12,78	9,45	
2015	11	6,43	3,19	0,16	4,70	2,49	24,59	16,90	40,12	39,40	13,20	1,35	130,65	Aguaca
2021	11	6,85	1,36	0,07	1,50	0,10	27,92	13,08	37,03	32,70	8,75	32,50	2,35	te
Promedio		6,64	2,28	0,12	3,10	1,30	26,26	14,99	38,58	36,05	10,98	16,93	66,50	
2021	12	6,17	4,54	0,23	2,22	1,28	25,81	3,38	36,66	63,30	14,80	1,25	72,25	Mango
2015	12	6,39	3,97	0,20	0,35	2,72	24,33	8,10	44,22	33,50	12,80	3,45	128,05	
2015	12	7,67	1,43	0,07	1,82	1,59	37,39	15,02	35,86	14,45	6,90	2,15	17,80	
Promedio		6,74	3,31	0,17	1,47	1,86	29,18	8,83	38,91	37,08	11,50	2,28	72,70	
2021	13	7,17	2,45	0,12	1,62	1,11	36,45	19,62	44,79	17,85	6,50	3,35	19,60	coco

Cuadro 15. Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que se aplicaran por cultivo.

Cultivo	Urea 45 %	Dosis nitrógeno		Sulfúrea/m z	Sulfúrea onzas/plta	Dosis fósforo		Dosis potasio	
		$(NH_4^+)_2 SO_4$ qq/mz	$(NH_4^+)_2 SO_4$ onzas/plta			DAP qq/mz	DAP onzas/plta	KCl qq/mz	KCl onzas/plta
Maíz	9	20		11		-7,71		-126	
Sorgo	22	48		25		2,86		-125	
Plátano	5	11	30	6	16	-5,94	-7	-142	-277
Aguacate	25	56	149	29	78	-0,66	-1	-101	-162
Mango	3	8	20	4	11	2,05	3	-140	-223
Coco	7	15	40	8	21	5,88	7	-72	-115

### 6.1. Plan de fertilización nitrogenada

Se realizaron cálculos para la dosis de nitrógeno con tres tipos diferentes de fuentes, urea al 46%, sulfato de amonio al 21 de nitrógeno y 24% de azufre y sulfúrea al 40% de nitrógeno y 6% de azufre. Como resultado se puede observar en el (Cuadro 15) que en el caso de la urea se utiliza menos quintales por manzana, que la sulfúrea y sulfato de amonio, siendo que el sulfato de amonio tiene menos nitrógeno, pero es el que contiene mayor porcentaje de azufre que aportar que sería lo más importante en este caso, para los cultivos de maíz y sorgo. Para los cultivos perennes y semi perennes el sulfato de amonio es el que contiene mayor cantidad de onzas por plantas porque contiene menos nitrógeno y más azufre.

### 6.2. Plan de fertilización fosfórica

Se puede observar en el Anexo 6 en el caso de la fertilización fosfórica para maíz resulta ser negativa porque es mayor el contenido de fósforo en el suelo que lo que demanda el cultivo, no así en el caso del sorgo que hay que aplicar fósforo. En relación de los cultivos plátano y aguacate, presentan la misma situación que el maíz, los valores son negativos, no así con el mango y aguacate.

### **6.3. Plan de fertilización potásica**

Se puede observar en el (Anexo 7), que los resultados de quintales por manzana de potasio para todos los cultivos son negativos ya que en el suelo existe mayor cantidad de potasio disponible que los que demandan los cultivos, es por eso que los resultados son negativos.

Las relaciones iónicas como otro criterio para interpretación de los resultados de análisis químicos de suelos. Se tomó en consideración las relaciones iónicas como un criterio más para obtener una buena interpretación de los análisis químicos de suelos, lo cual es importante para determinar si existe balance o desbalance ver Cuadro 16 y 17 y de esta manera poder corregir los posibles excesos que pueda haber en la solución del suelo y que esto no influya en los bajos rendimientos.

Según los resultados obtenidos de las relaciones catiónicas Ca/Mg, Mg/K, Ca/K y Ca Mg/K que se le realizaron a los trece lotes, existe once lotes equivalente a 84.6 % que se encuentra en términos aceptables según su balance iónico con las relaciones mencionadas anteriormente, existiendo solo dos lotes 16.4% en desbalance iónico de calcio, magnesio y potasio, con la observación de que no es que no existan estos nutrientes en el intercambio catiónico en la micela coloidal y la solución del suelo, sino que es la alta concentración que existe de ellos en el suelo lo que está presentando antagonismo entre el calcio, magnesio y potasio lo que está afectando la absorción de otros nutrientes y por ende esto repercute en la producción de los cultivos establecidos en estos lotes.

Cuadro 16. Relación de los cationes del suelo y su balance en la disponibilidad de nutrientes por lote, basado en los promedios de los análisis químicos.

Relación entre cationes								
Lote	Calcio	Magnesio	Potasio	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca + Mg) /K	
1	23,9	6,99	1,71	3,42	4,09	13,98	27,99	Balance
3	24,65	7,35	1,16	3,35	6,34	21,25	30,99	Balance
4	24,28	7,01	1,14	3,46	6,15	21,30	30,43	Balance
5	31,75	9,89	1,75	3,21	5,65	18,14	37,40	Balance
6	26,25	9,24	1,98	2,84	4,67	13,26	30,92	Balance
7	22,65	6,79	1,98	3,34	3,43	11,44	26,08	Balance
8	20,98	9,56	1,87	2,19	5,11	11,22	26,09	Balance
9	23,83	7,23	1,72	3,30	4,20	13,85	28,03	Balance
10	25,33	5,1	1,85	4,97	2,76	13,69	28,09	Balance
11	26,26	14,99	1,30	1,75	11,53	20,20	37,79	Balance
12	29,18	8,83	1,86	3,30	4,75	15,69	33,93	Balance
13	36,45	19,62	1,11	1,86	17,68	32,84	54,13	Desbalance

Cuadro 17 Balance y desbalance de la relación de los cationes del suelo

	Desbalance	Balance	Desbalance
Ca/Mg	2,0	2,0 a 5,0	> 5
Mg/K	2,5	2,5 a 15,0	> 15
Ca + Mg/K	10	10,0 a 40	> 40
Ca/K	5	5,0 a 25	> 25

La aplicación de fertilizantes con características ácidas como el sulfato de amonio, nitrato de amonio y la sulfúrea, permitirá a una reacción química de neutralización del calcio magnesio dentro de la solución del suelo.

Cuadro 18 Resumen de los planes de fertilización de los cultivos del área agrícola de la UEVP

Cultivo	Requerimiento kg/ha N-P-K	Rend ton/ha	Fuente (%)	Momento	Forma de aplicación
Maiz	157-23-127	10	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	50% a la siembra 50 % a la floración.	Al golpe de siembra, a 5cm de profundidad
			DAP- 46	Aplicar el 100% a la siembra	Al golpe de siembra, a 5cm de profundidad
			KCl al 60	No requiere	
Sorgo	313-59-271	10	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	50% a la siembra 50 % a la floración	Al golpe de siembra, a 5cm de profundidad
			DAP- 46	Aplicar el 100% a la siembra	Al golpe de siembra, a 5cm de profundidad
			KCl al 60	No requiere	
Plátano	95-11-253	6.8	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	30 onza en 3 momento / planta	30 cm del tronco de la planta
			DAP- 46	3 onza por planta por momento	30 cm del tronco de la planta
			KCl al 60	No require	
Aguacate	500-180-500	10	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	149 onza en 3 momento / planta	En círculo o media luna
			DAP- 46	3 onza por planta por momento	En círculo o media luna
			KCl al 60	No require	
Mango	108-16.5-159	15	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	20 onza por momento 40% antes de la floración 30% después de la floración 30% después de la cosecha	En círculo o media luna
			DAP- 46	3 onza por planta por momento	En círculo o media luna
			KCl al 60	No require	
Coco	130-26-167	10 mil unidades	SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> / 24-21	40 onzas de SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> 3 momentos	En contorno a una distancia de 1-2 metros del tallo
			DAP- 46	7 onza por planta por momento	En contorno a una distancia de 1-2 metros del tallo
			KCl al 60	No require	

## **VI. CONCLUSIONES**

Se encontró deficiencia en los contenidos de materia orgánica, fosforo nitrógeno, altos contenidos de potasio, calcio, magnesio y CIC, y valores bajo en manganeso y zinc

La generación de 13 mapas digitales relacionados a los macros y micronutrientes en el área son una herramienta útil para la planificación y toma de decisiones

Se diseñaron 6 planes de fertilización basados en el análisis de la base de datos físico - química de suelo para los cultivos de mayor importancia económica de la UEPV

## **VII. RECOMENDACIONES**

La ejecución de los planes de fertilización debe ser acompañada de enmiendas, y en especial de materia orgánica a fin de evitar el avance en la salinización de los suelos del área.

Iniciar investigaciones de fertilización de niveles críticos, para dar un salto de calidad con el fin de iniciar a implementar una agricultura de precisión que de repuesta a los problemas de sequía dentro del corredor y garantizar el aseguramiento alimentario en la zona.

Realizar estudios sobre la calidad química del agua de riego que se esta utilizando actualmente en el área agrícola.

### VIII. LITERATURA CITADA

- ALAC (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, CO. 2014. La Cartografía Digital de los suelos. Bogotá, CO. 115 p.
- Angelini, M. (2012). Mapeo digital de suelos. ARG. 2p.
- Bertsch. F (2003). Absorción de los nutrimentos por los cultivos, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. Asociación Costarricense de las Ciencias del Suelo. Primera edición San. José Costa Rica (307 pag). ISBN 9968-943-22-0-0.
- CATASTRO, (1971). Catastro e Inventario de Recurso Naturales de Nicaragua, Levantamiento de Suelos del Pacifico de Nicaragua, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Volumen II
- Calderón Puig, A; Lara Franquiz, D; Cabrera Rodríguez, A. (2012). Confección de Mapas temáticos para evaluar la fertilidad del suelo en las áreas agrícolas del Instituto nacional de ciencias agrícolas. La Habana, CU. Volumen 33, número 1. 7p.
- Espinoza L.et al. (2006). Como Interpretar Los Resultados de los Análisis de suelos. University of Arkansas System. Division of Agriculture Research y Extension. <https://www.uaex.edu/publications/pdf/fsa-2118sp.pdf>.  
Sitio web: <http://www.uaex.edu>
- Echeverts, J, D (1987) Análisis químico para evaluar la fertilidad de los suelos, sociedad mejicana de las ciencias de los suelos. Centro de Edafología Chapingo México.
- Forsythe W. (2000), Física de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. San José. Costa Rica. CR. p 77-79.
- Fassbender, H. (1984) Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina, cuarta reimpresión ISBN- 92-9039-025-5
- Garbanzo, M. (2011). *Ministerio de agricultura y ganadería- Manual del aguacate*
- Henríquez, C; Méndez J, C; Masis, R. 2013. Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el análisis kriging y su validación. San José, CR. p 8
- Holdridge, L.R. (1987) Ecología basada en zonas de vida. Traducida por Humberto Jiménez. San José de Costa Rica. IICA, 1987.

- INETER, (2015) Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Mapas de Ordenes de Suelos de Nicaragua, Escala 1:750000.
- Mantovani Coelho, A; Vargas Resende, A. s.f. Manual de agricultura de precisión: Muestreo para el mapeo y manejo de la fertilidad del suelo. Santa Lucia, AR. 12 p.
- Minasny, B; McBratney, A. 2006. A conditioned latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Faculty of agricultura, the University of Sidney, AUS. p 3.
- Mata Chinchilla. 2012. Mapeo digital de suelos. Brasil. Br. 43 p.
- Ortega, R y Flores, L. (2005). Agricultura de precisión, Introducción al manejo, sitio específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuaria, CRI, Quilamapu, Chile. p 13-46
- Ortega Blu, R. 2012. Cartografía digital de suelos en Chile: primer taller Latinoamericano globalsoipmap.net. Universidad técnica Federico Santa María. CL. p 44.
- Prat, C. y Quanting, P (1985-1991). Origen y Génesis Del Talpetate. Horizontes Endurecidos de Suelos de la Región Centro - Pacifico de Nicaragua, ORSTOM, MARENA, Managua, Nicaragua Terra volumen 10, Numero Especial: Suelos Volcánicos Endurecidos.
- Quintana, J, O (1980-1982) Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria, MIDINRA. Informe de las investigaciones sobre la fertilidad de los suelos en Nicaragua, guía de recomendaciones de fertilidad para granos básicos. Dirección General de Técnicas Agropecuarias, Dirección de Suelos y Agua Departamento de Fertilidad de Suelos. (158 pág.)
- Rojas. R. V. (2009). Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma Italia, cuarta edición, 88 páginas.
- Somarriba, M, (1989). Planificación Conservacionista de la Finca El Plantel, tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo Universidad Nacional Agraria, Pag.4.
- Schlatter, J. 2008. Fertilidad del suelo y el desarrollo de *Pinus radiata*. Facultad de Ciencias forestales. Universidad austral de Chile. CL. p 8-10
- Swenson, L.J. W.C Dahnke, and Patterson (1984). Sampling for soil testing. North Dakota State University, Dept. of Soil Scienc, Res. Repor N°8
- UNA, Universidad Nacional Agraria (2019) Guía y Normas Metodológicas de las Formas de Culminación de Estudios, Dirección de investigación, extensión y posgrado.

- UNA, Universidad Nacional Agraria, Instituto de la Potasa y el Fósforo INPOFOS (1993) Memorias del seminario de correlación y calibración de análisis de suelos. (101 pág.)
- USDA, (1976) United States Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. Second Edition. Washington DC 2025 pp 869.
- Vogel A.W, E Acuña Espinales (1994). Reference Soil of the Pacific volcanic cordillera. (19 pág.). (ISRIC) Institute of Soil Reference International Wageningen The Netherlands.
- Villareal Núñez J, E; Tuñón, B; García Espino R, A. 2010. Monitoreo de la fertilidad de los suelos por medio de análisis de laboratorio. PA. p 60.
- Zelaya, C, (1989). Planificación Conservacionista de la Finca El Plantel, tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo Universidad Nacional Agraria, Pag.4.

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de interpretación de los resultados de laboratorio

pH	Clasificación
<4.6	Extremadamente ácido
4.6-5.2	Muy frecuentemente ácido
5.2-5.6	Fuertemente ácido
5.6-6.2	Medianamente ácido
6.2-6.6	Ligeramente ácido
6.6-6.8	Muy ligeramente ácido
6.8-7.2	Neutro
7.2-7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4-7.8	Ligeramente alcalino
7.8-8.4	Medianamente alcalino
8.4-8.8	Fuertemente alcalino
8.4-8.9	Muy fuertemente alcalino
> .9.4	Extremadamente alcalino

Tabla de Capacidad de Intercambio catiónico

<5	meq/100g suelo	Muy baja
5-15	meq/100g suelo	Baja
5-25	meq/100g suelo	Media
25-40	meq/100g suelo	Alta
>40	meq/100g suelo	Muy alta

Tabla de Rango de contenidos de macronutrientes

Nutriente.	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno N	0.07	0.07 a 0.15	> 0.15
Fósforo P ppm	10	10 a 20	> 20
Potasio (k) meq/100g	0.2	0.2 a 0.3	> 0.3
Calcio (Ca) meq/100g	2.5	2.5 a 5.5	> 5.5
Magnesio (Mg) meq/100g	0.3	0.3 a 1.0	> 1.0
Mat. Org. %	< 2	4.0	> 4

Tabla de rangos de contenidos de micronutrientes extracción Olsen

Nutrientes	Unidades	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Hierro (Fe)	ppm	5 a 10	10 a 16	16 a 21	21 a 2
Zinc (Zn)	ppm	1 a 3	2.1 a 3.1	2.1 a 4.2	4.2 a 5.3
Cobre (Cu)	ppm	0.2 a 0.8	0.8 a 1.5	1.5 a 2.2	2.2 a 3.0
Manganeso	ppm	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 12

Anexo 2 Interpretación de los resultados de análisis químicos de todos los lotes propuesto por Chirinos A (1977), citado por Quintana, O. (1983).

Lote	pH		MO		N		P-disp		K-disp		Ca		Mg		CIC		Fe		Cu		Zn		Mn	
	H2O		%		ppm		me/100 g suelo										ppm							
1	6,23	La	2,62	M	0,13	M	4,81	B	1,34	A	25,17	A	6,49	A	44,02	A	51,40	A	15,20	A	1,75	B	22,55	A
1	6,74	Mla	1,91	B	0,10	M	35,67	A	2,09	A	22,63	A	7,48	A	41,55	A	10,90	B	6,45	A	18,20	A	2,00	B
2	6,57	La	3,91	A	0,2	M	4,93	B	2,00	A	21,88	A	6,45	A	34,56	A	31,20	A	12,60	A	1,85	B	87,75	A
2	7,46	LA	1,97	B	0,10	M	4,08	B	1,26	A	14,85	A	3,41	A	42,99	A	6,80	B	6,45	A	23,40	A	1,20	MB
2	6,30	La	1,76	B	0,09	M	13,24	M	2,31	A	20,74	A	7,75	A	44,02	A	11,70	B	7,45	A	22,10	A	1,00	MB
3	6,57	La	3,91	A	0,2	M	4,93	B	2,00	A	21,88	A	6,45	A	34,56	A	31,20	A	12,60	A	1,85	B	87,75	A
3	7,35	MLA	1,91	B	0,10	M	7,44	B	1,15	A	21,62	A	5,81	A	44,22	A	6,60	B	5,95	A	19,60	A	0,50	MB
3	6,85	N	2,79	M	0,14	M	21,92	A	0,34	A	30,44	A	9,80	A	43,99	A	10,30	B	6,80	A	3,30	M	128,20	A
4	6,26	La	3,71	A	0,19	A	2,17	B	1,94	A	23,21	A	5,93	A	44,22	A	27,10	M	9,80	A	2,35	M	103,75	A
4	7,39	MLA	0,93	B	0,05	B	3,12	B	0,35	M	25,35	A	8,08	A	39,02	A	26,70	A	6,85	A	29,40	A	0,90	MB
5	6,47	La	3,4	A	0,17	A	13,89	M	1,98	A	21,60	A	8,16	A	34,66	A	36,10	A	13,50	A	2,45	M	107,65	A
5	6,89	N	1,03	B	0,05	B	16,39	M	2,05	A	30,14	A	8,80	A	41,55	A	8,40	B	6,65	A	15,80	B	1,20	MB
5	8,02	MA	2,95	M	0,13	M	3,76	B	1,22	A	43,51	A	12,72	A	47,31	A	11,45	B	5,00	A	2,65	B	48,10	A
6	6,25	La	0,6	B	0,03	B	4,75	B	2,04	A	26,01	A	8,26	A	36,66	A	44,80	A	14,20	A	2,05	B	102,35	A
6	6,25	La	2,86	M	0,14	B	23,80	A	2,04	A	26,49	A	10,22	A	44,20	A	44,80	A	14,20	A	2,05	B	102,35	A
7	7,34	MLA	1,81	B	0,09	M	15,34	M	1,98	A	22,65	A	6,79	A	44,84	A	7,30	B	6,45	A	22,00	A	1,00	MB
7	7,67	LA	1,43	B	0,07	B	1,82	B	1,59	A	37,39	A	15,02	A	35,86	A	14,45	B	6,90	A	2,15	B	17,80	A
8	6,25	La	2,86	M	0,14	M	23,80	A	1,59	A	26,49	A	10,22	A	44,20	A	14,45	B	6,90	A	2,15	B	17,80	A
8	7,28	MLA	1,97	B	0,10	M	6,80	M	2,14	A	15,47	A	8,90	A	44,43	A	9,40	B	6,95	A	23,40	A	1,10	MB
9	6,64	La	3,29	M	0,16	A	0,00	B	1,72	A	23,83	A	7,23	A	34,66	A	34,30	A	11,70	A	1,35	MB	90,35	A
10	6,57	La	5,06	A	0,25	A	0,00	B	1,85	A	25,33	A	5,10	A	39,19	A	47,30	A	11,10	A	2,25	B	201,15	A
11	6,43	La	3,2	M	0,16	A	0,00	B	2,49	A	24,59	A	16,90	A	40,12	A	39,40	A	13,20	A	1,35	MB	130,65	A
11	6,85	N	1,4	B	0,07	B	1,50	B	0,10	B	27,92	A	13,08	A	37,03	A	32,70	A	8,75	A	32,50	A	2,35	B
12	6,17	La	4,54	A	0,23	A	2,22	B	1,28	A	25,81	A	3,38	A	36,66	A	63,30	A	14,80	A	1,25	B	72,25	A
12	6,39	La	3,97	M	0,2	A	0,35	B	2,72	A	24,33	A	8,10	A	44,22	A	33,50	A	12,80	A	3,45	M	128,05	A
12	7,67	LA	1,43	B	0,07	B	1,82	B	1,59	A	37,39	A	15,02	A	35,86	A	14,45	B	6,90	A	2,15	B	17,80	A
13	7,17	N	2,45	M	0,12	M	1,62	B	1,11	A	36,45	A	19,62	A	44,79	A	17,85	M	6,50	A	3,35	m	19,60	A

### Simbología

La	Ligeramente ácido
Mla	Muy ligeramente ácido
MLA	Muy ligeramente alcalino
LA	Ligeramente Alcalino
N	Neutro
MA	Medianamente Alcalino
A	Alto
M	Medio
B	Bajo
MB	Muy Bajo

### Anexo 3 Cálculo para encontrar el peso de una hectárea surco

Hectárea	Densidad aparente	Profundidad muestreo
10.000 m <sup>2</sup>	1.0 g/cm <sup>3</sup>	20 cm

$$\text{Peso/hectarea} = 100 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times 100 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times 20 \text{ cm} \times 1.0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$Pha = 20 \times 10^8 \text{ g} = 2,000,000,000 \text{ g}$$

$$P/ha = 2000,000,000 \text{ g}$$

#### a) Cálculo para encontrar el peso de una hectárea surco

Área de una hectárea 1000m<sup>2</sup>

Densidad aparente = 1.0 g/cm<sup>3</sup>

Profundidad del muestreo = 20 cm

Peso /ha = 10,000 m<sup>2</sup> = 100,000,000 cm<sup>2</sup>

Peso/ha = 100,000,000 cm<sup>2</sup> X 20 cm X 1.0 g/cm<sup>3</sup>

Peso/ha = 2,000,000,000 g

Peso /ha = 2000,000 kg

Nota:

Se eliminan los metros marcados en rojo

Se eliminan los centímetros en verde.

Conversión:

1 kg contiene 1000g

Convertir m<sup>2</sup> a cm<sup>2</sup>

10000 m<sup>2</sup> = a cm<sup>2</sup> = 100,000,000 cm<sup>2</sup>

### Anexo 4. Cálculo para encontrar el nitrógeno disponible

Nitrógeno disponible según contenido de materia orgánica en el suelo

Se puede estimar el nitrógeno disponible basado en el contenido de la materia orgánica en el suelo Reveer, (1983), citado por Quintana, 1983. Se considera que en los suelos del trópico anualmente se mineraliza el cinco por ciento del total de la materia orgánica contenida en el suelo, y que de ese porcentaje el dos por ciento se convierte en nitrógeno disponible en el año Fasbendeer (1983).



Anexo 6. Hoja de cálculos para dosis de nitrógeno.

Calculos para fertilización nitrogenada

a	b	c	d	e	f	g	h	i	g	k	l	m	n	ñ	o	p	q	r	s
D.a.	Prof.	Area	Peso	Peso	MO	MO	MO	MO	Demanda	Efic.	kh/ha/	lb/mz/N/	qq/mz/	Urea	NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfúrea	Onza/plta	Onza/plta	Cultivo
g/cm <sup>3</sup>	cm	ha/mz	ha/g	ha/kg	% lab	kg/ha	5% r/min	2% Ndisp	kg/ha	Fert.%	N	aplicar	N	46%	21%	40%	NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub>	sulfúrea	
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	2.27	45400	2270	45.4	157	40	279	430	4	9	20	11			Maíz
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	2.55	51000	2550	51.0	313	40	655	1009	10	22	48	25			Sorgo
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	1.73	34600	1730	34.6	95	40	151	233	2	5	11	6	30	16	Plátano
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	2.28	45600	2280	45.6	350	40	761	1172	12	25	56	29	149	78	Aguacate
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	3.31	66200	3310	66.2	108	40	104.5	161	2	3	8	4	20	11	Mango
1.0	20	1.0E+08	2.0E+06	2.0E+06	2.45	49000	2450	49.0	130	40	202.5	312	3	7	15	8	40	21	Coco

Pasos para cálculo de la fertilización nitrogenada.

- 1) Cálculos para encontrar el peso de una hectárea surco en kg/ha.  $(a \times b \times c) / 10000$
  - 2) Cálculos para encontrar el nitrógeno disponible en kg/ha, (Suministro).  $(e \times f) / 100 (g \times 5) / 100 (h \times 2) / 100$
  - 3) Cálculos para encontrar cantidad de nitrógeno a aplicar en kg/ha.  $(g - i) / k \times 100$
  - 4) Cálculos para encontrar cantidad de nitrógeno a aplicar en lb/mz.  $(l \times 2.2 \times 0.7)$
  - 5) Cálculos para encontrar los quintales de (NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>) al 21%, que se aplicarán por manzana.  $(m / 21)$
  - 6) Cálculos para encontrar los quintales de (Sulfúrea) al 40%, que se aplicarán por manzana.  $(m / 40)$
  - 7) Cálculo para encontrar las onzas por plantas de (NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>) al 21%, que se aplicarán en tres momentos, a los cultivos perennes, plátano, aguacate, mango y coco para 200 plantas.  $(p \times 100) / 200 \times 16 / 3$
  - 8) Cálculo para encontrar las onzas por plantas de (Sulfúrea) al 40%, que se aplicarán en tres momentos, a los cultivos perennes, plátano, aguacate, mango y coco para 200 plantas.  $(q \times 100) / 200 \times 16 / 3$
- En el caso de maíz y sorgo solo se aplicarán los quintales por manzana de los dos tipos de fertilizantes.

Anexo 7. Hoja de cálculos Excel para dosis de fósforo.

Cálculos para fertilización fosfórica.

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	ñ	o	p
D.a. g/cm <sup>3</sup>	Prof cm	Area ha/cm <sup>2</sup>	Peso ha/g	P ppm lab	P ppm	P g/ha	P kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	Demanda kg/ha	Efic. Fert %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha/ aplicar	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> lb/mz	qq/mzP	DAP qq/mz 18-46-0	DAP Onza/plta 3m	Cultivo
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	20.46	4.09E+10	40920	40.92	92.1	23	30	-230	-355	-3.55	-7.71		Maiz
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	7.42	1.48E+10	14840	14.84	33.4	59	30	85	131	1.31	2.86		Sorgo
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	14.28	2.86E+10	28560	28.56	63.4	11	30	-178	-273	-2.71	-5.94	-7	Platano
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	3.10	6.20E+10	6200	6.2	14.0	8	30	-20	-31	-0.31	-0.66	-1	Aguacate
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	1.47	2.94E+10	2940	2.94	6.6	25	30	61	94	0.94	2.05	3	Mango
1.0	20	1.00E+08	2.00E+06	1.62	3.24E+10	3240	3.24	7.3	60	30	176	271	2.71	5.88	7	Coco

Pasos para cálculo de la fertilización fosfórica.

- 1) Cálculos para encontrar el peso de una hectárea surco en kg/ha. (a x b x c) / 100
- 2) Cálculo para encontrar el fósforo elemental en kg/ha.(g / 1000)
- 3) Cálculo para convertir de fósforo elemental a fósforo disponible. (h x 2.25)
- 4) Cálculo para encontrar la cantidad de fósforo que se va aplicar en kg/ha. (j – i) / K x 100
- 5) Cálculo para encontrar la dosis en qq/mz de DAP 18-46-0 que se aplicará. (l / 46)
- 6) Cálculo para encontrar la dosis en onzas por planta, aplicada en tres momentos. (m / 200) x 16 / 3

Anexo 8. Hoja de cálculos para dosis de potasio

Calculos para fertilizacion potásica

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	ñ	o	p
D.a. g/cm <sup>3</sup>	Prof. cm	Area ha/cm <sup>2</sup>	Peso ha/g	K meq/100 g/lab	K meq/100 g/ha	K g/ha	K kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha	Demanda kg/ha	Efic. Fert.%	K <sub>2</sub> O aplicar kg/ha	K <sub>2</sub> O Aplicar lb/mz	K <sub>2</sub> O qq/mz	KCl qq/mz 60%	KCl onza/plta 3m	Cultivo
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	1.7	3.42E+07	1E+06	1334	1601	127	30	-4912	-7564	-75.64	-126		Maiz
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	1.9	3.70E+07	1E+06	1443	1732	271	30	-4869	-7498	-74.68	-125		Sorgo
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	2.0	4.08E+07	2E+06	1591	1909	253	30	-5521	-8503	-85.03	-142	-227	Platano
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	1.3	2.60E+07	1E+06	1014	1217	35	30	-3939	-6067	-60.67	-101	-162	Agucate
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	1.9	3.72E+07	1E+06	1451	1741	110	30	-5437	-8372	-83.72	-140	-223	Mango
1.0	20	1.0E+08	2.0E+09	1.1	2.22E+07	865800	866	1039	200	30	-2797	-4307	-43.07	-72	-115	Coco

Pasos para cálculo de la fertilización potásica.

- 1) Cálculos para encontrar el peso de una hectárea surco en kg/ha.  $(a \times b \times c) / 100$
- 2) Cálculo para encontrar el potasio elemental en kg/ha.  $(g / 1000)$
- 3) Cálculo para convertir de potasio elemental a potasio disponible.  $(h \times 1.20)$
- 4) Cálculo para encontrar la cantidad de potasio que se va aplicar en ka/ha.  $(j - i) / K \times 100$
- 5) Cálculo para encontrar la dosis en qq/mz de K<sub>2</sub>O 60 % que se aplicará.  $(l / 60)$
- 6) Cálculo para encontrar la dosis de onzas por planta, aplicada en tres momentos de KCL 60% .  $(m / 200) \times 16 / 3$

La fertilización potásica los resultados son negativos porque el contenido en el suelo es mayor que la demanda del cultivo.