



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas cantón Pindal”

**Trabajo de Titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniera Agrícola**

AUTORA:

Paola Elizabeth Gaona Moncada

DIRECTOR:

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg.

Loja-Ecuador

2023

Educamos para Transformar

Certificación

Loja, 8 de septiembre del 2022

Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg.Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado **“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas cantón Pindal”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de la autoría de la estudiante **Paola Elizabeth Gaona Moncada**, con **cédula de identidad Nro. 1104946619**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Miguel Villamagua Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Paola Elizabeth Gaona Moncada**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de Identidad: 1104946619

Fecha: 13 de septiembre del 2023

Correo electrónico: paola.gaona@unl.edu.ec

Teléfono: 0960760786

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Paola Elizabeth Gaona Moncada**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas cantón Pindal”** como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de septiembre del dos mil veintitrés.

Firma:



Autora: Paola Elizabeth Gaona Moncada

Cédula: 1104946619

Dirección: Imbabura y Bernardo Valdivieso

Correo electrónico: paola.gaona@unl.edu.ec

Teléfono: 0960760786

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Miguel Ángel Villamagua, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico este Trabajo de Titulación en primer lugar a Dios por permitirme existir y guiarme en todo momento brindándome la fuerza y fortaleza para poder alcanzar cada una de mis metas.

Con profundo cariño, amor y respeto a mis padres María Moncada y Manuel Gaona pilar fundamental que desde pequeña me inculcaron buenos valores, los mismos que a lo largo de mi vida me han servido para desarrollarme en todo ámbito, gracias por darme su apoyo incondicional durante todo este proceso.

A todos mis hermanos fuente de inspiración y perseverancia continua Betty, Willan y de manera especial a Gloria que ha sido como mi segunda madre, Yomari por la ayuda y ánimos que siempre me dio, Lupe mi soporte emocional, mi consejera, a ella toda mi admiración siempre, al igual que mi hermano Darwin y mi cuñada Nancy por estar siempre pendiente de mí y ayudarme en todo el proceso, sobrinas y sobrinos.

A mis amigos Suly, Marilyn, Shirley, Alexandra e Isaías por la paciencia, consejos y palabras de aliento, como también a mis compañeros de aula Luis, Galo, Pablo y Marco que de una u otra forma aportaron a mi desempeño y desarrollo académico compartiendo sus conocimientos para poder alcanzar este gran sueño.

A todos ustedes gracias porque con su ayuda hicieron posible la realización de este proyecto.

Paola Elizabeth Gaona Moncada

Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento, a la Universidad Nacional de Loja, especialmente a la Carrera de Ingeniería agrícola, a toda la planta docente, por haberme impartido todos sus conocimientos y aportar a mi formación académica y profesional.

De la misma manera agradezco al Ing. Miguel Villamagua por su dirección en todo este proceso y a los ingenieros Natali Abad y Rubén Soto por su ayuda desinteresada durante el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, agradezco a los miembros del tribunal, ingenieros Jimmy Cordero, Fernanda Livisaca y María Chamba por sus valiosas sugerencias para mejora del presente Trabajo de Titulación.

Paola Elizabeth Gaona Moncada

Índice de contenidos

| | |
|---|-----|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Índice de contenidos | vii |
| Índice de tablas..... | x |
| Índices de figuras..... | xi |
| Índice de anexos..... | xii |
| 1. Título | 1 |
| 2. Resumen | 2 |
| 2.1. Abstract | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| 4. Marco Teórico | 6 |
| 4.1. Propiedades químicas del suelo | 6 |
| 4.1.1 Materia Orgánica | 6 |
| 4.1.2 pH | 7 |
| 4.1.3. pH adecuado del suelo para los cultivos | 7 |
| 4.1.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | 8 |
| 4.1.5. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) | 8 |
| 4.1.6. Fertilidad del suelo | 9 |
| 4.1.7. Fertilidad Potencial | 9 |
| 4.1.8. Fertilidad Actual | 9 |
| 4.2. Nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas | 10 |
| 4.3. Propiedades Físicas del Suelo | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.1. Porosidad..... | 12 |
| 4.3.2. Densidad aparente | 12 |
| 4.3.3. Densidad real..... | 12 |
| 4.3.4. Estructura | 13 |
| 4.3.5. Textura | 13 |
| 4.3.6. Color..... | 14 |
| 4.3.7. Curva Característica de Humedad del Suelo..... | 14 |
| 4.3.8. Saturación..... | 15 |
| 4.3.9. Capacidad de Campo (CC)..... | 15 |
| 4.3.10.Punto de Marchitez Permanente (PMP) | 16 |
| 4.3.11.Agua aprovechable | 16 |
| 4.3.12.Capacidad de aireación..... | 17 |
| 4.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo | 17 |
| 4.5. Eficiencia de los nutrientes en el suelo | 18 |
| 4.6. Fertilización de maizales | 18 |
| 4.7. Relación entre cationes intercambiables | 19 |
| 5. Metodología | 20 |
| 5.1. Área de estudio..... | 20 |
| 5.1.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Chaquinal. | 20 |
| 6. Resultados | 22 |
| 6.1. Características morfológicas, físicas, químicas y fertilidad del suelo en la finca Callancas..... | 22 |
| 6.2. Plan de fertilización para maíz | 27 |
| 7. Discusión | 29 |
| 8. Conclusiones | 30 |
| 9. Recomendaciones | 31 |
| 10. Bibliografía | 33 |

11. **Anexos**... 40

Índice de tablas:

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Los rangos de pH deseables para algunos cultivos | 8 |
| Tabla 2. Requerimientos de macro y micronutrientes en maíz | 19 |
| Tabla 3. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el maíz | 19 |
| Tabla 4. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los dos perfiles, en el Sector Callancas | 23 |
| Tabla 5. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los dos perfiles, del Sector Callancas | 23 |
| Tabla 6. Condiciones Químicas del Sector Callancas | 24 |
| Tabla 7. Fertilidad del Suelo de la Finca Callancas | 24 |
| Tabla 8. CICE del suelo para el Sector Callancas | 27 |
| Tabla 9. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la finca Callancas | 27 |
| Tabla 10. Plan de Fertilización para maíz en la finca Callancas | 28 |

Índices de figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1. pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas..... | 7 |
| Figura 2. Curva de contenido de humedad..... | 15 |
| Figura 3. Ubicación geográfica de la parroquia Chaquinal..... | 20 |
| Figura 4. Perfil 1 del sector Callancas..... | 22 |
| Figura 5. Representación gráfica de la Curva del pF del perfil 1. | 24 |
| Figura 6. Perfil 2 del sector Callancas..... | 25 |
| Figura 7. Representación gráfica de la Curva del pF del perfil 2. | 26 |
| Figura 8. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes. | 28 |

Índice de anexos:

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo..... | 40 |
| Anexo 2. Descripción de los perfiles del suelo de la zona de estudio. | 40 |
| Anexo 3. Análisis del material parental en la zona de estudio | 41 |
| Anexo 4. Toma de muestras para enviar a laboratorio..... | 42 |
| Anexo 5. Productividad de los híbridos sembrados en diferentes lotes del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba..... | 42 |
| Anexo 6. Mapa de Pendientes de la zona de estudio | 42 |
| Anexo 7. Mapa Geológico de la zona de estudio..... | 43 |
| Anexo 8. Ficha de descripción de los perfiles de suelos del sector Callancas en los sitios seleccionados en función de la pendiente del terreno..... | 43 |
| Anexo 10. Distribución de requerimientos por elementos del híbrido con mayor producción Dekalb..... | 46 |
| Anexo 11. Plan de fertilización para el perfil 1 de la finca Callancas. | 46 |
| Anexo 12. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización. | 47 |
| Anexo 13. Certificación del Abstract..... | 47 |

1. Título

“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas cantón Pindal”

2. Resumen

Un suelo fértil y sano depende de sus propiedades físicas y químicas, conocer las características del recurso edáfico es esencial para garantizar una gestión óptima y maximizar la producción agrícola. Los bajos niveles de producción se asocian a diversas causas, tales como, inadecuada aplicación de fertilizantes, plaguicidas, eliminación de la vegetación por medio de la quema y sobrepastoreo. El objetivo principal de la investigación fue la caracterización física y química del suelo de la finca Callancas ubicada en el cantón Pindal, para ejecutar un plan de fertilización con el fin de obtener un alto rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays*. L). En el desarrollo del estudio se tomaron muestras de suelo de las calicatas localizadas en el área de estudio, se determinó mediante la curva del pF las características físicas y químicas a través del método de Olsen modificado; pH suelo: agua (1:2,5) y la titulación NaOH. Los resultados obtenidos indican que la primera capa de suelo presenta una baja CA y contenido medio de AA, que se manifiesta en un VFI (81,64 %) catalogado como muy pobre según la zona I del diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, además, existe deficiencias de macro y micronutrientes (N, P, K, B, S, Zn, Mn) y un pH_{H_2O} prácticamente neutro con una CIC y MO media, los valores son indicativos de que las condiciones del suelo no son aptas para el desarrollo del cultivo de maíz, por tal razón se diseñó un plan de fertilización en función de las características físicas y químicas del recurso edáfico del área de investigación y en función de los requerimientos nutricionales del maíz por etapa fenológica. Finalmente, se recomienda realizar la caracterización física-química del suelo antes de establecer el programa de fertilización con énfasis en un mayor rendimiento agrícola.

Palabras claves: *Análisis, físico, químico, calicatas, plan de fertilización, maíz.*

2.1. Abstract

A fertile and healthy soil depends on its physical and chemical properties; knowing the characteristics of the soil resource is essential to ensure optimal management and maximize agricultural production. Low production levels are associated with various causes, such as inadequate application of fertilizers, pesticides, elimination of vegetation by burning and overgrazing. The main objective of the research was the physical and chemical characterization of the soil of the Callancas farm located in the Pindal canton, to implement a fertilization plan in order to obtain a high yield of corn (*Zea mays*. L). In the development of the study, soil samples were taken from the pits located in the research area, and the physical characteristics and chemical properties were determined by the pF curve using the modified Olsen method; soil pH: water (1:2.5) and NaOH titration. The results obtained indicate that the first soil layer presents a low CA and average AA content, which is manifested in a VFI (81.64 %) classified as very poor according to zone I of the triangular diagram for the evaluation of the physical conditions of the soil, in addition, there are deficiencies of macro and micronutrients (N, P, K, B, S, Zn, Mn) and a pH_{H_2O} practically neutral with an average CEC and MO, the values are indicative that the soil conditions are not suitable for the development of the corn crop, for this reason a fertilization plan according to the physical and chemical characteristics of the soil resource of the research area and according to the nutritional requirements of corn by phenological stage. Finally, is it recommended to perform the physical-chemical characterization of the soil before establishing the fertilization program with emphasis on a higher agricultural yield.

Keywords: *Analysis, physical, chemical, calicatas, fertilization plan, corn.*

3. Introducción

La caracterización física y química de los suelos es fundamental para comprender sus propiedades y determinar su potencial como medio del cultivo; esta información es esencial para garantizar un manejo óptimo de los suelos y maximizar la producción agrícola (Molina, 2013). En este estudio se analizaron las diferentes técnicas utilizadas para caracterizar los suelos y resaltar la importancia de la fertilización en el mantenimiento de la calidad del suelo; destacando un estudio previo antes de iniciar cualquier actividad agrícola con el fin de garantizar una producción saludable y sostenible.

La producción de maíz a nivel mundial es relativamente grande, en el año 2020 se sembraron 201,98 millones de hectáreas con una producción de 1162,3 millones de toneladas siendo los países productores más grandes EEUU con una producción de 360,25 millones de toneladas en 33,37 ha y un rendimiento promedio de 10794 kg.ha⁻¹, China produjo 260,87 millones de toneladas en 41,29 millones de ha con un rendimiento promedio de 6318 kg.ha⁻¹, Brasil con 103,96 millones de toneladas en 18,5 millones de ha y un rendimiento promedio de 5696 kg.ha⁻¹ seguido de Argentina con una producción de 58,39 millones de toneladas en 7,3 millones de ha y con un rendimiento promedio de 7569 kg.ha⁻¹ (Chávez, 2022).

De acuerdo a MAG (2020) citado en Zambrano (2021), la producción de maíz a nivel nacional en orden de relevancia económica se concentra con, el 37 % en Los Ríos, un 32 % en Manabí y un 15 % en el Guayas; de la misma forma el mejor rendimiento se obtiene en los Ríos 6,2 t.ha⁻¹, seguido por Guayas con 4,6 t.ha⁻¹ y Manabí con 5,5 t.ha⁻¹. La provincia de Loja se ubica en el cuarto lugar del ranking de rendimiento a nivel nacional de maíz duro seco con una producción de 201,552 t en una superficie de 42,133 ha y con un rendimiento de 4,78 t.ha⁻¹ (MAG, 2021).

Los cantones de la provincia de Loja, tales como, Célica, Pindal y Zapotillo son los principales productores de maíz porque cuentan con las principales características óptimas como son; requerimientos climáticos, altitudinales, factores edáficos, precipitación adecuada, topografía plana e irregular entre otras que son de gran importancia para el cultivo, logrando niveles óptimos e incrementando los niveles de producción (Carrión et al., 2023).

En este contexto, Chamba y Riofrío (2015), indican que en el cantón Pindal se registró un 60,70 % de uso de suelo para la producción agrícola, donde el 60,60 % es utilizado para el cultivo de maíz, es decir, 12.215,10 ha del total de la superficie del cantón. La práctica del

monocultivo de maíz ha crecido de manera descontrolada debido a la demanda de las industrias de balanceados. La elevada demanda del maíz sumado a la inexistente aplicación de medidas preventivas para preservar la fertilidad del suelo, manejo de suelos de topografía irregular y de alta pendiente han agudizado la erosión hídrica y antrópica. En este sentido, Pacheco y Silva (2012), señala que estas condiciones generan el desgaste del suelo, debido a que no descansa el tiempo suficiente para restaurar sus nutrientes, o a su vez no se aplican técnicas de restauración del suelo como la rotación de cultivos, cultivos intercalados y cubierta vegetal.

El sector Callancas de la parroquia Chaquinal del cantón Pindal se caracteriza por su actividad agrícola relacionada netamente por la producción de maíz, sin embargo, no se dispone de información necesaria para la producción de maíz, especialmente del recurso suelo, en lo que concierne a la fertilidad. En función de los antecedentes presentados, se propone generar información sobre la caracterización física y química del suelo con fines de producción de maíz, para lo cual se pretende dar respuesta a la siguiente interrogante ¿Cuáles son las características físicas y propiedades químicas del suelo para el cultivo de maíz en la finca Callancas de la parroquia Chaquinal? Para dar respuesta a esta problemática se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Contribuir a la gestión de la fertilidad del suelo de las fincas dedicadas al cultivo de maíz (*Zea mays*. L) de la parroquia Chaquinal del cantón Pindal”.

Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente al suelo de la finca Callancas, parroquia Chaquinal, cantón Pindal.
- Proponer un plan de fertilización para el cultivo de maíz en la finca Callancas

4. Marco Teórico

4.1. Propiedades químicas del suelo

4.1.1. Materia Orgánica

Cumple un importante rol en la fertilidad de los suelos debido a que es la fuente principal de nutrientes para las plantas como también de energía para los microorganismos, atravesando por funciones de carácter químico, físico y biológico provenientes de diferentes reacciones regidas por la materia orgánica del suelo MOS, incluidas la oxidación, reducción, cambio iónico y adsorción de compuestos orgánicos naturales (Lal 2004; citado en Huiza, 2020).

De acuerdo a Anónimo (1988) y Graetz (1997) citados en Julca *et al.* 2006 la materia orgánica del suelo posee cerca del 5 % de N total, pero también contiene otros elementos fundamentales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes

Según Aguilera (2000), menciona que entre los principales procesos que interviene la materia orgánica (MO) se encuentran:

- Fuente principal de nutrientes como N, P, S, de su propia constitución al mineralizarse.
- Gran fuente de energía para los procesos biológicos heterótrofos, a través de su contenido de carbono disponible.
- Principal responsable de la disponibilidad de nutrientes tanto de macronutrientes como de micronutrientes por ser un polielectrolito, propiedad química importante que la MO desarrolla a través de sus grupos ácidos.
- Facilita la agregación del suelo al interactuar física y químicamente con los minerales del suelo permitiendo de esta manera su agregación, mejorando la aireación y permeabilidad del suelo, lo que es de vital importancia para la bioactividad en todos los procesos aeróbicos.
- Fija a sus estructuras poliméricas y estables, sustancias orgánicas e inorgánicas que constituyen agentes ajenos y contaminantes del sistema edáfico, como son metales pesados y pesticidas, con lo cual logra aportar al suelo una protección ante estas sustancias tóxicas; el almacenamiento de las mismas pasa entonces a ser directamente dependiente de la calidad y cantidad de MO del suelo.

4.1.2. pH

Es una medida relativa de la cantidad de iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidróxido (OH^-) en solución. Cuando los dos iones están presentes en cantidades iguales, la solución es considerada neutra (pH 7). Si hay más iones H^+ , el pH es inferior a 7 (ácido), si hay más iones OH^- , el pH es superior a 7 (alcalino o básico). La escala del pH tiene un rango de 0 a 14. Cada cambio en las unidades de pH representa un aumento o disminución de 10 veces la concentración de iones H^+ o iones OH^- factor de 10. Por lo tanto, un cambio de pH relativamente pequeño representa un considerable cambio tanto en acidez como en la alcalinidad de una solución (Padilla, 2007).

Por otra parte, Navarro y Navarro (2013), sostiene que el valor del pH de los suelos puede variar de manera extensa por ende da a conocer a través de la siguiente figura los límites extremos de pH para la mayoría de los suelos de las regiones áridas y húmedas.

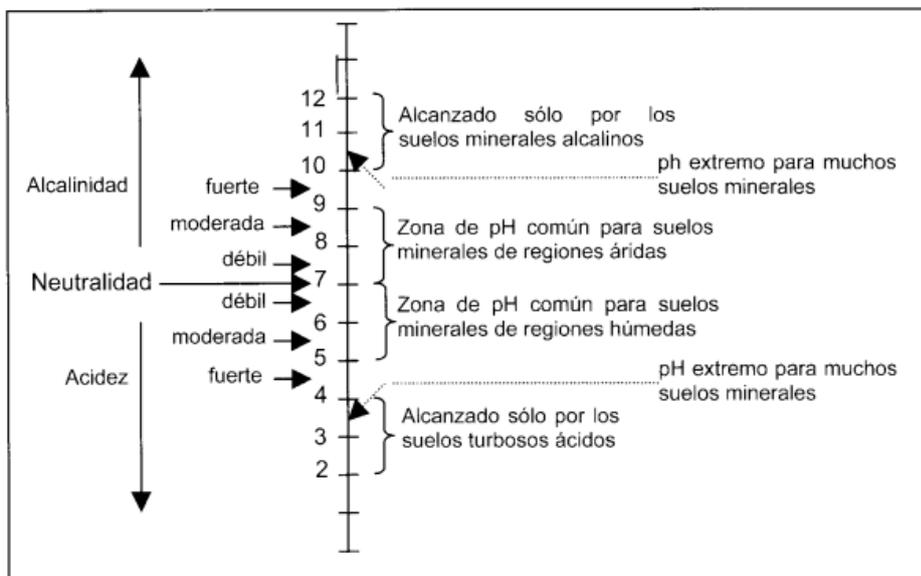


Figura 1. pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de regiones húmedas y áridas.

Fuente: (Navarro y Navarro, 2013).

4.1.3. pH adecuado del suelo para los cultivos

De acuerdo al Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS) (1997) la mayoría de los cultivos crecen de mejor manera cuando el pH del suelo está en un rango de 6 a 7, pero la acidez no retarda el crecimiento de todos los cultivos no obstante algunos cultivos requieren condiciones ácidas para desarrollarse.

Tabla 1. Los rangos de pH deseables para algunos cultivos

| pH | pH | pH |
|------------|---------------|------------------|
| 5,0 – 6,0 | 6,0 – 6,5 | 6,5 – 7,0 |
| Arándano | Pasto bermuda | Alfalfa |
| Papa | Maíz | Algunos tréboles |
| Papa dulce | Algodón | |
| Sandía | Sorgo | |
| | Maní | |
| | Soya | |
| | Trigo | |

Fuente: INPOFOS, 1997

4.1.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es una de las propiedades más importantes del suelo y posee una gran influencia sobre diversas cantidades de características, adicionando que es un proceso reversible por el cual las partículas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, des absorbiendo al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y forman equilibrio entre ambas fases. Estos fenómenos se dan debido a las propiedades específicas del complejo coloidal del suelo con cargas electrostáticas y una gran superficie (Arredondo, 2015).

Al mismo tiempo Arredondo (2015), señala como cationes cambiables en el suelo se presentan principalmente Ca, Mg, K, Al, Na, Fe, Mn, H los cuales integran un grupo de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes Ca, Mg, K, y Na cambiables se nombra bases cambiables y su porcentaje dentro de la capacidad total del intercambio se llama porcentaje de saturación además la suma de la acidez y las bases cambiables es la capacidad de intercambio catiónico.

Además, Padilla (2007), expresa que la CIC es la habilidad que tiene el suelo de atraer y retener cationes sobre su superficie e intercambiarlos con otros en el medio ambiente circundante. Los cationes retenidos en la superficie se denominan iones adsorbidos.

4.1.5. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)

Otro factor importante, es la CICE aquí se encuentran disponibles las cargas del suelo para los procesos de intercambio, ocupados por los cationes efectivamente de intercambio, que son Ca, Mg, K, Na y Al. El ion H^+ no es intercambiable, porque se encuentra adsorbido en la CIC por enlaces covalentes, siendo retirado solamente por neutralización (reacción con OH^-) cuando se realiza la aplicación de la cal en el suelo (Padilla, 2007).

Por lo tanto:

C.I.C. Efectiva = Ca+Mg+K+(Na)+Al ó

C.I.C Efectiva = SB + Al

Lo más importante de las CICE es cuando se observa que los cationes Ca, K, Mg y sodio mantienen las relaciones adecuadas entre ellos y al realizar la suma de todos los valores, se llegue a un valor de suficiencia.

4.1.6. Fertilidad del suelo

Definida como su estado en relación a la capacidad que tiene de proporcionar elementos que son esenciales para el crecimiento de las plantas sin presentar concentraciones tóxicas de ningún elemento, de esta manera varían con el tipo de planta tanto las necesidades de elementos esenciales como la tolerancia a elementos tóxicas, por lo que el grado de fertilidad no puede expresarse en relación al suelo, sino que también debe referirse al cultivo (Ansorena, 2013).

En este contexto Solís (2011), expresa que la fertilidad del suelo es una cualidad que resulta de la interacción entre las características físicas es decir la capacidad de brindar condiciones adecuadas para el sostén y desarrollo de los cultivos; como también de las químicas que se encargan de suministrar todos los nutrientes adecuados, balanceados y por último de las biológicas que se encuentran vinculadas con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos.

4.1.7. Fertilidad Potencial

De acuerdo a Valarezo (2012), la fertilidad potencial es la que constituye la capacidad que tiene el suelo de proveer elementos nutritivos para las plantas de las reservas inorgánicas y orgánicas, a través de los procesos de meteorización y mineralización microbiana, respectivamente. La fertilidad potencial del suelo está determinada por:

- La composición mineralógica de las fracciones arena y limo.
- La cantidad y composición química de la materia orgánica del suelo.
- La cantidad y tipo de iones Intercambiables del complejo de intercambio catiónico del suelo.

4.1.8. Fertilidad Actual

Se refiere a los elementos nutritivos que son más o menos aprovechables para las plantas en forma directa, siendo común referirse entonces a "nutrientes aprovechables o nutrientes

disponibles" (Valarezo, 2012).

4.2. Nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas

Las plantas para su desarrollo esencialmente necesitan de nutrientes como son los macronutrientes (N, P, K, S, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Mg, B, Cu, Cl, Mo).

- **El Nitrógeno**, aproximadamente el 98 % se encuentra en forma orgánica y sus requerimientos de la mayoría de las plantas son altos, así el flujo de N a la superficie de la raíz es mayor que para la mayoría de los otros iones en donde el exceso de N puede extender el crecimiento vegetativo. A mayor suministro de N menor contenido de carbohidratos, debido a que el mismo causa el crecimiento de tejido adicional (Bonadeo, 2017).
- **El Fósforo**, la concentración de P total en el suelo varía entre 100 ppm en los suelos muy arenosos a 3 000 ppm en los suelos derivados de rocas básicas, mientras que en los suelos agrícolas el rango de P total oscila entre 500 y 800 ppm. Es el nutriente más abundante contenido en el tejido microbiano 2 % de su peso en seco y el segundo es abundante en la materia orgánica del suelo (Bonadeo, 2017).
- **El Azufre**, su contenido total en el suelo oscila entre el 1 y el 10 %. En los suelos influenciados por ceniza volcánica, como se da en Ecuador, pueden llegar a tener entre el 12 y 20 % de azufre total, este también se encuentra de dos formas orgánica e inorgánica (Padilla, 2007).
- **El Calcio, Potasio y Magnesio**, su disponibilidad generalmente, se basa en la determinación de estos elementos en forma intercambiable; sin embargo, también se utilizan métodos de extracción simple, sin afectar directamente el complejo de intercambio.

Ahora bien, Valarezo (2012), considera que el calcio prevalece generalmente entre las bases cambiables del complejo coloidal del suelo. El contenido en Ca cambiable depende del material parental y del grado de evolución de los suelos. A través de la meteorización y del lavado este elemento disminuye bastante en los suelos.

El magnesio cambiable se halla adsorbido al complejo de intercambio catiónico del suelo. Con respecto a otros elementos es variable las cantidades y la proporción en los diferentes suelos. Los suelos desarrollados sobre sedimentos pobres en bases o altamente meteorizados

presentan contenidos menores de magnesio.

Con respecto al potasio, se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes. Su contenido como K_2O varía de 0,5 a 3 % y depende de su textura (Navarro y Navarro, 2013).

- **El Hierro**, puede ser absorbido por la planta a través de su sistema radicular como Fe^{+2} , o también como quelatos de hierro; este interviene en diversos procesos para la planta debido a que forma parte de diversos sistemas enzimáticos (Navarro y Navarro, 2013).
- **El Zinc**, absorbido por la planta como catión divalente Zn^{2+} o quelato vía radical o foliar. Es transportado vía xilema y respectivamente poco móvil en el interior de la planta, la disponibilidad aumenta con la disminución del pH y la presencia de sulfato (Rodríguez y Flores, 2004).
- **El Manganeso**, se absorbe principalmente como catión manganoso (Mn^{2+}), aunque en el suelo también puede existir como Mn^{3+} o Mn^{4+} , óxidos insolubles y quelatos. Este es soluble a pH ácidos y en suelos encharcados y aunque la deficiencia de este elemento no es común, es importante tener en cuenta que es un elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en hojas jóvenes (Rodríguez y Flórez, 2004).
- **El Boro**, es absorbido por la planta en forma de anión H_2BO_3 transportado por la xilema lo que significa que su distribución en las plantas está determinada principalmente por la transpiración debido a que es un elemento poco móvil. Además, la deficiencia de este elemento induce a la acumulación de fenoles que cuando se activan por la luz producen radicales superóxidos que pueden provocar daño a las membranas (Rodríguez y Flores, 2004).
- **El Cobre**, Suele absorberse en forma de Cu^{+2} , poco móvil, aunque puede pasar de hojas viejas a hojas jóvenes en cierta proporción, el contenido en cobre es variable, generalmente entre 5 y 50 ppm, suele existir en forma de Cu^{+2} . Su deficiencia inhibe la lignificación del xilema, lo que produce marchitez y rizado de hojas nuevas, relajación y clorosis de pecíolos y tallos (Gil y Pszczólkowski, 2015).
- **El Cloro**, es absorbido en grandes cantidades por muchos cultivos, principalmente en forma de iones en el suelo, y es lavado en el suelo en áreas húmedas. En conjunto con el manganeso y el zinc se encargan de provocar efectos fungistáticos al originar la

síntesis de fitoalexinas, compuestos hormonales que son sintetizados en el mismo cultivo que actúan como hongos (Bonilla 2010, citado por Zari, 2014).

- **El Molibdeno**, se considera importante debido a que genera la asimilación normal del nitrógeno en las plantas, resulta más asimilable en suelos alcalinos y es componente esencial para el nitrato reductasa y nitrogenasa los cuales intervienen en la reducción del ión nitrato (NO₃) a amonio (NH₄) por lo que resulta indispensable para el desarrollo del maíz (Jurado y Zambrano, 2020).

4.3. Propiedades Físicas del Suelo

4.3.1. Porosidad

Se expresa como el porcentaje de poros en el volumen del suelo, en donde, el porcentaje de volumen de suelo no está ocupado por sólidos y se determina directamente en muestras de suelo no perturbadas, es decir, como si estuvieran en el campo, sin deformaciones que cambien la posición de las partículas sólidas, y por tanto el espacio entre ellas (Rucks et al., 2004). Además, los autores describen que a esta propiedad se la puede establecer a través del valor de sus densidades aparente y real, a continuación, se las menciona:

4.3.2. Densidad aparente

Es la relación existente entre el peso seco (150°) de una muestra de suelo y el volumen que ocupa en el suelo la misma (Ecuación 1).

$$D. a. = \frac{\text{peso de los sólidos de la muestra o peso seco (a)}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra (b) + volumen poroso (c) de la muestra}} \quad (1)$$

4.3.3. Densidad real

Es el promedio ponderado de las densidades de las partículas sólidas del suelo y se determina obteniendo el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos de la muestra (Ecuación 2).

$$D. r. = \frac{\text{peso seco de la muestra}}{\text{Volumen de los sólidos de la muestra}} \quad (2)$$

Y dividiendo la densidad aparente para la densidad real quedaría (Ecuación 3):

$$D. a. / D. r. = \frac{\frac{a}{b+c}}{\frac{a}{b}} = \frac{b}{b+c} = \frac{\text{Volumen de sólidos}}{\text{Volumen total}} \quad (3)$$

4.3.4. Estructura

Es la forma cómo se agregan las partículas del suelo y se encarga de las relaciones de aireación, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Se caracteriza por la estabilidad estructural, es decir, la resistencia que crean los agregados del suelo para evitar ser destruidos. Conocer como están formados los agregados del suelo, la organización de arcillas, limo, arenas para su formación y determinación siendo la forma, el grado de desarrollo y tamaño del agregado (Leon, 2011).

De esta manera, la estructura y la estabilidad del suelo están involucradas en muchos procesos del mismo y sus interacciones con plantas: erosión, infiltración de agua, exploración de raíces, aireación y resistencia mecánica (Leon, 2011).

En cuanto a la FAO (2002), se refiere a la agregación de las partículas del suelo más finas en fragmentos o unidades más grandes. Una mezcla de suelo bien estructurado contiene en volumen aproximadamente 50 por ciento de material sólido y 25 por ciento de aire y agua respectivamente.

4.3.5. Textura

La textura es la característica más persistente del suelo y afecta decisivamente otras propiedades como: estructura, consistencia, estado de humedad, permeabilidad, tasa de infiltración, tasa de escorrentía superficial, erosionabilidad, trabajabilidad, penetración de raíces, fertilidad y hace referencia a distribuciones de tamaño de partícula y grupos de tamaño de partícula dentro de un rango específico (Valarezo, 2012).

Dicho de otro modo, es la proporción en porcentaje de peso de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes del suelo, varía de unos horizontes a otros, existiendo un rasgo propio de cada uno de ellos por lo que es tan importante el análisis de los diferentes horizontes del suelo uno a uno. Para su determinación exacta se usan métodos oficiales de análisis, como es el caso del método del densímetro de Bouyoucos (fase de laboratorio), aunque también se puede realizar de forma indirecta en campo (fase de descripción de perfil) (Blamquer, 2010).

Para determinación de la textura se utiliza el diagrama textural para lo cual se requiere porcentajes de arena, limo y arcilla (Anexo. 1)

4.3.6. *Color*

Es una de las características morfológicas más importantes, la más obvia, fácilmente identificable y ordenada en la identificación taxonómica del suelo. El color del suelo está íntimamente relacionado con el contenido de sólidos (materia orgánica, textura, composición mineral, morfología); al igual que los metales de transición, principalmente aquellos metales que pueden darle al suelo esta característica especial (Domínguez et al., 2012). Por ello, el color del suelo se determina por la comparación de éste con los diferentes patrones de color establecidos en la tabla Munshell (Moreno et al., 2010).

- **Tabla Munshell**, incluye todos los tonos en el rango visible del espectro electromagnético, con solo alrededor de una quinta parte de los tonos utilizados para los suelos. Estas consisten en hojas, de las cuales representa un tono que aparece en la esquina superior derecha de la página. Cada hoja presenta una serie de placas de diferentes colores, dispuestos sistemáticamente sobre el papel, que representan la claridad (valor) y la pureza (croma). La división de luminancia (valor) se presenta verticalmente, y el valor aumenta (se ilumina) de abajo hacia arriba; la división de pureza (croma) se presenta horizontalmente, en la parte inferior de la hoja de trabajo, aumentando de izquierda a derecha (Domínguez et al., 2012).

4.3.7. *Curva Característica de Humedad del Suelo*

Representa la relación entre el potencial total de humedad del suelo y su contenido de agua, que tiene una gran dependencia de la textura del suelo en un amplio rango de tensiones. Es una herramienta integral en la gestión de riegos y se utiliza para establecer controles en el campo, usando tensiómetros (Jaramillo, 2022; citado en Soto, 2022).

Asimismo, es una herramienta para evaluar el flujo de evaporación en la superficie del suelo, en donde interceden las curvas características del suelo $h(0)$ y $K(0)$, difíciles de obtener tanto en campo como en laboratorio (Hernández y Muñoz, 2009).

Por otra parte, la curva de retención de agua de un suelo se ve afectada por los siguientes factores estructurales, texturales y químicas del sistema del suelo, así como la temperatura del agua en el suelo por ende para una tensión o potencial dado, el contenido de humedad disminuye a medida que la temperatura del suelo aumenta (Vázquez et al., 2017). A continuación, se presenta en la figura 2 la curva de contenido de humedad para tres suelos característicos arenoso, franco y arcilloso.

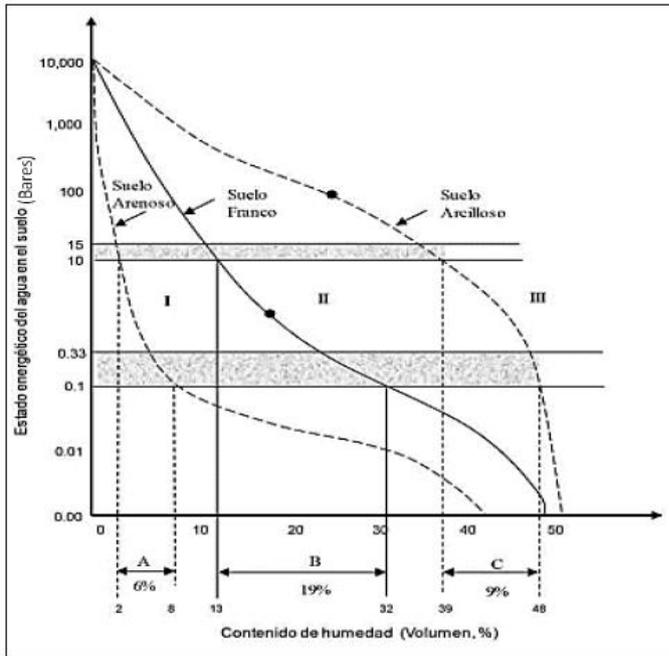


Figura: 2. Curva de contenido de humedad.

Fuente: (Vázquez et al., 2017)

4.3.8. Saturación

La saturación es el estado en el que todos los poros del suelo están llenos de agua. El contenido de humedad de este paso varía del 30 % para la arena al 60 % para la arcilla. El potencial de la matriz en la saturación depende menos de la textura del suelo y es cercano a cero, lo que indica la menor restricción en el movimiento del agua y las raíces de las plantas pueden absorber agua del suelo con energía mínima (Valarezo et al., 2020).

El punto de intersección de la curva de retención de agua del suelo con el eje de las abscisas corresponde a una tensión de 1 cm ($pF = 0$). En este punto, el volumen representa el contenido de agua del suelo en la condición de saturación, que como ya se mencionó, equivale a la porosidad total (Porta et al., 2008; citado en Valarezo et al., 2020).

4.3.9. Capacidad de Campo (CC)

Es la cantidad de agua que se contiene en el suelo después de que exista un exceso de agua que ha sido drenado por la gravedad como por la velocidad de movimiento hacia abajo es relativamente estable y generalmente ocurre entre 1 a 3 días luego del riego o de mucha lluvia. Los suelos arcillosos rara vez alcanzan niveles de humedad de capacidad de campo porque continúan drenándose durante largos períodos de tiempo (Valarezo et al., 2020).

Así, la CC para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

(USDA) corresponde al contenido de agua que el suelo retiene a una succión de 1/3 de atm ($pF = 2,52$). En cambio, para la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm ($pF = 2,0$) (Valarezo et al., 1998; citado por Valarezo et al., 2020).

Desde el punto de vista científico de Reinoso (2011), la capacidad de campo CC es el contenido de agua de un suelo posteriormente de haber sido saturado y haber dejado escurrir hasta un punto donde el movimiento gravitacional del agua haya concluido.

4.3.10. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

El PMP se estima como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo equilibrada con una presión de -1 500 KPa (-15 bar de succión equivalente a $pF = 4,2$), en un equipo de placas de presión. El volumen de agua al PMP representa el volumen inservible de poros del suelo (Monteith y Unsworth, 2013; citado en Valarezo et al., 2020).

Se considera el contenido de agua del suelo, retenido como una firme creencia de que las plantas no pueden extraerlo, lo que lleva a un marchitamiento irreversible existir en este estado, generalmente se cree que el potencial de retención de agua es inferior a -15 (Vega, 2011).

En el mismo sentido, el PMP también depende de las propiedades del suelo en sí, como el tamaño de las partículas, la compactación, el contenido de materia orgánica o la profundidad del perfil. Se ha encontrado que los niveles de humedad del suelo con succión de sustrato superior a 1500 kPa están en el rango donde la mayoría de las plantas se marchitan (Quiroga et al., 2018).

4.3.11. Agua aprovechable

Es una característica importante que determina propiedades físicas del suelo. Por lo tanto, es más probable que los suelos con alto contenido de agua disponible produzcan biomasa vegetal que los suelos con bajo contenido de agua disponible (Valarezo et al., 1988).

Se considera como el volumen de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo ($pF = 2,0$ ó $2,52$) y el punto de marchitez permanente ($pF = 4,2$) corresponde al agua aprovechable: $AA (\% \theta_v) = CC (\% \theta_v) - PMP (\% \theta_v)$, la misma que constituye la solución del suelo y es la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas (Valarezo, 2011; Valipour, 2014; citado por Valarezo et al. 2020).

4.3.12. Capacidad de aireación

Se encuentra íntimamente relacionado con la compactación del suelo y su deficiencia conduce a un menor desarrollo del sistema radicular, pobre crecimiento de la parte aérea, síntomas de marchitamiento y muerte de la planta pueden ocurrir incluso en suelo húmedo y es muy útil para conocer la permeabilidad del suelo. En este sentido (Valarezo et al., 1988) sostiene que, si la porosidad de aireación es mayor a 10 -15 %, la aireación es amena para el crecimiento de las plantas.

El volumen que resulta de la diferencia entre el contenido de agua a saturación ($pF = 0$) y el contenido de agua a capacidad de campo ($pF = 2,0$ ó $2,52$), corresponde a la capacidad de aireación del suelo: $CA (\% \theta_v) = \text{Satur.} (\% \theta_v) - CC (\% \theta_v)$ (Bitelli, 2010; citado en Valarezo et al., 2020).

4.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

Para evaluar las condiciones físicas del suelo se utiliza el diagrama triangular (Anexo 1), en la base del triángulo se encuentran los valores porcentuales del volumen de la capacidad de aireación, cuyos poros tienen un diámetro equivalente mayor a 30 micras. En el lado derecho del triángulo se encuentran los valores porcentuales del agua aprovechable, con un diámetro equivalente de poros de 0,2 a 30 micras, considerando como capacidad de campo el contenido de agua retenida a $pF 2$. En el lado izquierdo del triángulo contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros; este corresponde al valor del contenido volumétrico de agua en el PMP. Comprende poros menores a 0,2 micras, que no proveen de aire ni de agua para las raíces (Valarezo et al., 1998).

En la parte interna del diagrama triangular se encuentra dividido en cinco zonas. La zona I, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas; en tanto en la zona V, da cabida a aquella combinación de disponibilidad de agua y aire que se la considera muy buena. Las zonas II, III y IV corresponden a las condiciones pobre, medio y buena, respectivamente. Por debajo del triángulo se encuentran las líneas prolongadas de los rangos del agua aprovechable y de la capacidad de aireación con su respectiva interpretación (Valarezo et al., 1998).

Por otra parte, la calidad del suelo posee algunas funciones como son promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas; atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos, favorecer la salud de las plantas, animales y

humanos; además se considera como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con un uso específico (García et al., 2012).

Las propiedades físicas de primer orden son la infiltración, profundidad de enraizamiento, almacenamiento de agua aprovechable donde de cierta forma afectan la calidad del suelo y en las características de segundo orden cuando se trata de establecer y monitorear la calidad física del suelo se encuentran la estabilidad de agregados, densidad aparente y porcentaje de arcilla dispersable (Amézquita et al., 2004).

4.5. Eficiencia de los nutrientes en el suelo

Stewart (2007), manifiesta que la eficiencia se puede ver a corto o largo plazo y que puede basarse en el rendimiento, la recuperación o la eliminación. Para determinar la eficiencia es importante la naturaleza y conducta de un nutriente en el suelo, por ejemplo, los nutrientes con potencial de acumulación en el suelo como son el K y P, pueden verse a corto plazo, no obstante, se prestan más para que su eficiencia y recuperación sean valoradas a largo plazo.

Por otro lado, debido a la naturaleza transitoria del nitrógeno inorgánico (potencial de volatilización, desnitrificación y lixiviación), la eficiencia del nitrógeno generalmente se evalúa en un período corto de tiempo o dentro de un solo ciclo de crecimiento. a pesar de esto, es más apropiado cuando es posible aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo evaluar la eficiencia de N a largo plazo, como lo que afecta el balance de C también afecta el balance de nitrógeno, ya que la relación C: N de la materia orgánica del suelo es relativamente constante (Stewart, 2007).

4.6. Fertilización de maizales

De acuerdo a Irañeta (2015) el maíz es un cultivo que logra un sorprendente desarrollo vegetativo y altos rendimientos y por lo tanto tiene requerimientos de nutrientes muy altos, por lo que es necesario inferir la fertilización de diferentes elementos según las necesidades del cultivo y el aporte del suelo. Por lo tanto, ajustar la cantidad de fertilización aplicada al maíz es un aspecto clave para optimizar la rentabilidad de los cultivos, mantener la fertilidad del suelo y minimizar los posibles impactos ambientales negativos del uso indiscriminado de fertilizantes.

A continuación, se presenta una tabla de requerimientos de macro y micronutrientes para el maíz con varios autores, trabajando la presente investigación con los requerimientos del autor (Ortega, 2021) y (Sánchez, 2022) del Centro Binacional de Formación Técnica

Zapotepamba.

Tabla 2. Requerimientos de macro y micronutrientes en maíz

| Autores | N | P | K | Ca | Mg | S | B | Cl | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Carrillo, 2019 | 170 | 68,70 | 72,60 | 32,20 | 41,50 | 60 | - | - | - | - | - | - | - |
| Hurtado, 2014 | 220 | 190 | 40 | 30 | 30 | 40 | 0,20 | - | 0,13 | 3,34 | 0,27 | - | 0,53 |
| Carrillo, 2010 | 0 | 46 | 60 | | 27 | 33 | - | - | - | - | - | - | - |
| Sánchez, 2022 | 145 | 61 | 135 | 8 | | 24 | - | - | - | - | - | - | - |
| Ortega, 2021 | 131 | 27 | 36 | 2 | 8 | 16 | 0,04 | 0,20 | 0,03 | 0,40 | 0,29 | 0,01 | 0,24 |

Fuente: El autor, 2022.

4.7. Relación entre cationes intercambiables

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables Ca Mg^{-1} , Mg K^{-1} , $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$ basándose de esta información se evalúa: balance de cationes y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio (Hernández, 2021).

Tabla 3. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el maíz

| Relación entre cationes | Rangos óptimos cmol.kg^{-1} | Nivel crítico | Recomendación |
|---------------------------------------|--|----------------------|---------------------------|
| Ca Mg^{-1} | 2,0 - 5,0 | Si <2,0 | Agregar calcio |
| | | Si >5,0 | Agregar magnesio |
| Mg K^{-1} | 2,5 - 15,0 | Si <2,5 | Agregar magnesio |
| | | Si >15 | Agregar potasio |
| $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$ | 10,0 - 40,0 | Si <10 | Agregar calcio y magnesio |
| | | Si >40 | Agregar potasio |

Fuente: Hernández, 2021.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Chaquinal.

La parroquia Chaquinal se encuentra ubicada, en el sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Pindal y ocupa el 8,5 % de la superficie cantonal; limita al Norte con el río Alamor, al Sur con la quebrada Gramales, al Noreste con la quebrada Macandamine y al Oeste con el río Alamor y la quebrada Gramales. Las coordenadas geográficas son: a $-4^{\circ} 2' 43.88''$ latitud Norte y $-80^{\circ} 2' 14.73''$ longitud Este, a una altitud de 874 a 774 m s.n.m (GAD de la parroquia Chaquinal, 2015).



Figura 3. Ubicación geográfica de la parroquia Chaquinal.

Fuente: Instituto Geográfico Militar (IGM).

El relieve, predomina en su mayoría terrenos que van de fuertemente inclinado con pendientes de (12-15 %), moderadamente escarpados (25-40 %) a escarpados (40 a 70 %), lo que indica que el terreno es muy irregular y propenso a la erosión y deslizamientos; la geología está conformada por la formación Ciano y Célica, caracterizada por depósitos aluviales, coluviales y coluvio aluviales; los suelos están compuestos por los órdenes Inceptisol y Alfisol; el clima es Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, con dos estaciones: invierno en los meses enero-mayo y verano en junio-octubre, las temperaturas fluctúan entre 20°C y 26°C (GAD de la parroquia Chaquinal, 2015).

Materiales y equipos

Fundas plásticas, martillo de goma, baldes, barreno, ligas, tejido nylon, lampa, barreta, muestras de suelo, cilindros Kopecky de 100 cm³, balanza de precisión 0.1 g, estufa, GPS, marcadores, esferos, portátil, hojas de papel.

Metodología para el primer objetivo Caracterizar física y químicamente al suelo de la finca Callancas, parroquia Chaquinal, cantón Pindal.

La investigación contempla dos unidades de suelo, en cada una se hizo una calicata cuyas dimensiones fueron 1,00 x 1,50 x 1,20 m de profundidad, que se realizaron en una superficie total de 1,5 ha, se describió cada uno de los horizontes del suelo, en base a las normas de la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2009. La designación de horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura comprendida en el USDA Soil Taxonomy (2014) (Anexo 2).

Se procedió a la recolección de muestras alteradas en las dos unidades de suelo, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó: pH_{H2O}, elementos disponibles N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas INIAP. Por otra parte, se recolecto el material parental de los dos perfiles para su respectiva descripción (Anexo 3).

Se tomaron muestras inalteradas en cada perfil de suelo por triplicado de los dos horizontes superiores, con los anillos Kopecky de 100 cm³, para determinar capacidad de campo a una presión de 1/10 y 1/3 de atmosfera, punto de marchitez permanente, agua aprovechable y densidad aparente (Anexo 4). A partir de esta información se procedió a realizar las curvas características de humedad.

Metodología para el objetivo 2, Plan de fertilización para el cultivo de maíz en la finca Callancas.

Se realizó el plan de fertilización en función de los nutrientes disponibles en el suelo de acuerdo a la caracterización química, eficiencia de los fertilizantes, requerimiento del cultivo (Anexo 5) y la relación de cationes determinada por los análisis químicos para el cultivo de maíz siendo Ca Mg⁻¹: 2,0-5,0 cmol kg⁻¹; Mg K⁻¹ 2,5-15 cmol kg⁻¹; (Ca+Mg) K⁻¹ 10,0- 40,0 cmol kg⁻¹ (Villamagua, 2022).

6. Resultados

6.1. Características morfológicas, físicas, químicas y fertilidad del suelo en la finca Callancas.

La zona de estudio geomorfológicamente es de tipo relieve loma, predominan pendientes de 25 a 50 %, representando el 34,75 % en un área total de 1,50 ha. La geología corresponde a la formación Ciano con un material parental andesita. Esta formación contiene areniscas, limolitas y lutitas intercaladas con rocas volcánicas. Abarca un aporte proximal del arco volcánico oceánico del Cretácico y adicionalmente, debido al cuarzo encontrado en las láminas delgadas, también tendría un aporte continental del basamento metamórfico existente en la parte noroccidental de la cuenca, razón por la cual su formación debió ser una cuenca de tras arco (Anexo 7).

Suelo de la finca Callancas, Perfil P1C.

La ubicación del perfil en el sector Callancas se encuentran en las coordenadas: $-4^{\circ} 2' 59.776''$ latitud Sur y $-80^{\circ} 2' 33.241''$ longitud Oeste y altitud de 867 m s.n.m, consta de un área con pendiente del 15% en cuanto al material parental: existe andesita (roca volcánica) y se compone de un buen drenaje interno.

Características morfológicas:

Perfil integrado por 4 horizontes: Ap, Bt₁, Bt₂ y BC de colores claros, texturas arcillosas, finas con presencia de grietas hasta los 120 cm de 2 cm de ancho y espaciadas de 25 a 30 cm, dentro de su profundidad existen pocas raíces y lixiviación de materia orgánica, profundidad efectiva hasta los 25 cm, a partir de ahí existe una mezcla, composición de un BC integrado por material edafizado y de un material proveniente de la matriz parental andesita (Anexo 8).

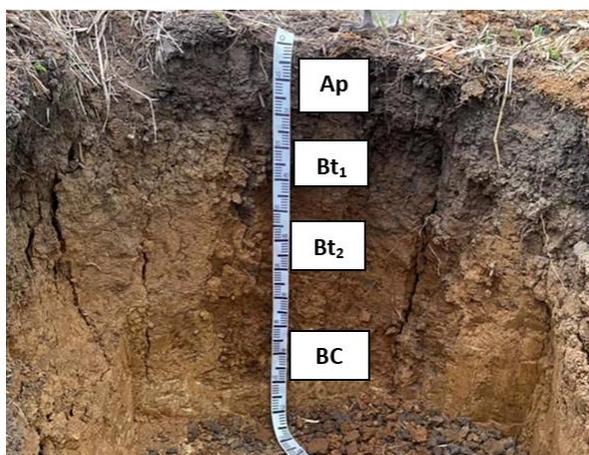


Figura 4. Perfil 1 del sector Callancas.

Tabla 4. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los dos perfiles, en el Sector Callancas

| Unidad de suelo | Profundidad cm | Da g.cm ³ | Porosidad total | Capacidad de campo | Capacidad de campo | Punto Marchitez |
|-----------------|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | | % θ_v pF0 | % θ_v pF2,00 | % θ_v pF 2,52 | % θ_v pF4,20 |
| P1C | Ap (00-20) | 1,35 | 38,87 | 34,05 | 30,86 | 20,50 |
| | Bt ₁ (20-40) | 1,36 | 34,25 | 34,25 | 22,55 | 22,55 |
| P2C | Ap (00-30) | 1,42 | 33,99 | 26,48 | 15,67 | 15,67 |
| | Bt (30-50) | 1,48 | 32,95 | 27,61 | 24,66 | 16,52 |

Perfil 1 calicata (P1C); Perfil 2 calicata (P2C).

Tabla 5. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los dos perfiles, del Sector Callancas

| Unidad de suelo | Profundidad cm | CA | CA | AA | AA | VFI % θ_v | Zona del diagrama pF2,00 | Clase |
|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|-------|
| | | % θ_v pF2,00 | % θ_v pF2,52 | % θ_v pF2,00 | % θ_v pF2,52 | | | |
| P1C | Ap (00-20) | 4,81 | 10,35 | 13,55 | 10,35 | 81,64 | I | MP |
| | Bt ₁ (20-40) | 4,97 | 7,84 | 11,71 | 11,71 | 83,32 | I | MP |
| P2C | Ap (00-30) | 7,50 | 11,04 | 10,81 | 7,27 | 81,69 | I | MP |
| | Bt (30-50) | 5,33 | 8,29 | 11,09 | 8,14 | 83,57 | I | MP |

Capacidad de Aireación (CA); Agua Aprovechable (AA); Volumen físicamente Inerte (VFI); Muy Pobre (MP).

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de 1,35 g.cm⁻³, el volumen total de poros es relativamente bajo (38,87 % θ_v). La retención de agua a pF4,20 es de 20,50 % θ_v , valor que indica que más de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF2,00 indica que la capacidad de aireación (4,81 % θ_v) se encuentra en el rango muy bajo, el agua aprovechable (13,55 % θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es 81,64 % θ_v , valor considerado como alto, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre.

La condición física de la capa 20-40 cm (horizonte B_{t1}) la densidad aparente es de 1,36 g.cm⁻³, el volumen total de poros (34,25 % θ_v), valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de 22,55 % θ_v , valor que evidencia que es mayor de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación (4,97 % θ_v) se localiza en un rango muy bajo, el agua aprovechable (11,71 % θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen físicamente inerte es considerado como muy alto (83,32 % θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (7,84 % θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable 11,71 % θ_v en el rango medio. En la figura 5 se muestra la curva del pF, mediante la cual se validó las condiciones físicas del suelo del perfil 1 de la finca Callancas.

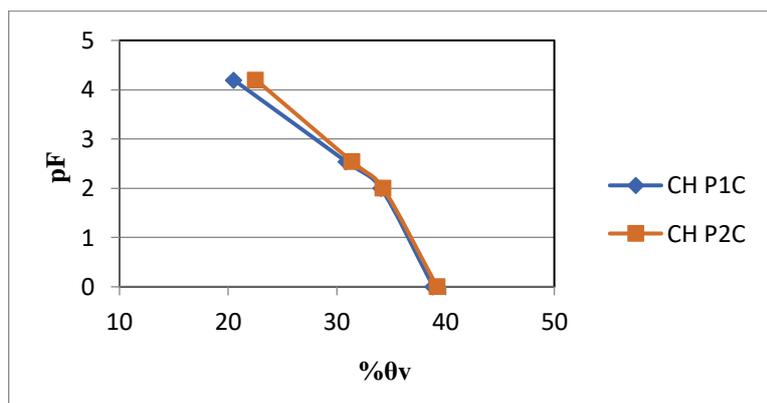


Figura 5. Representación gráfica de la Curva del pF del perfil 1.

Tabla 6. Condiciones Químicas del Sector Callancas

| Unidad de suelo | pH 1:2.5(Agua) | MO % | CIC meq/100g | Textura |
|-----------------|-------------------|---------|-----------------|---------|
| P1C | 6,63 | 4,52 | 21,00 | FoAc |
| P2C | 6,84 | 4,52 | 22,40 | FoAc |

Materia Orgánica (MO); Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Condiciones Químicas:

En las condiciones químicas el valor del pH_{H_2O} de 6,63, se encontró en un rango prácticamente neutro, la materia orgánica MO se obtuvo en un porcentaje de 4,52 localizándose en un valor medio y con un contenido de la CIC de 21,00 meq/100g ubicado en el rango medio.

Tabla 7. Fertilidad del Suelo de la Finca Callancas

| Uso del suelo | N | P | K | Ca | Mg | Mn | Zn | Fe | Cu | S | B |
|-----------------------|-------|------|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | ppm | | meq/ 100g | | | ppm | | | | | |
| P1C | 21,00 | 7,50 | 0,29 | 22,69 | 4,05 | 13,30 | 5,60 | 28,00 | 4,20 | 9,50 | 0,48 |
| Interpretación | B | B | M | A | A | M | M | M | A | B | B |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| P2C | 15,00 | 7,50 | 0,22 | 23,20 | 3,21 | 12,30 | 5,70 | 11,00 | 5,60 | 8,00 | 0,48 |
| Interpretación | B | B | M | A | A | M | M | B | A | B | B |

Interpretación de los análisis químicos; A= Alto; M= Medio; Bajo=B.

Fertilidad Actual:

Los resultados de los análisis químicos por el método del Olsen modificado presentan un contenido de elementos disponibles como el N, P, K y Fe en un rango bajo y medio, el Zn, Mn y B se encuentran en rango de bajo a medio y el Ca, Mg y Cu en rangos altos.

Suelo de la finca Callancas, Perfil P2C

El perfil se ubica en las siguientes coordenadas: $-4^{\circ} 2' 58.802''$ latitud Sur y $-80^{\circ} 2' 35.544''$ longitud Oeste a una altitud de 870 m s.n.m y posee una pendiente del 20% con material parental de andesita alterada (manchada con óxidos, hidróxidos y suelos) y buen drenaje.

Características morfológicas:

Suelo formado por 4 horizontes genéticamente bien desarrollados, un Ap de 30 cm de espesor, sobre un Bt que va de los 30 a 50 cm, Bw con una profundidad de 50 a 65 cm y finalmente un horizonte BC en proceso de desarrollo, la profundidad efectiva llega hasta los 100 cm, presenta estructuras prismáticas bien desarrolladas, textura fina (Fo.Ac), grietas que llegan hasta los 100 cm de profundidad, de ancho 1 cm y espaciamiento de 25 a 35 cm (Anexo 8).

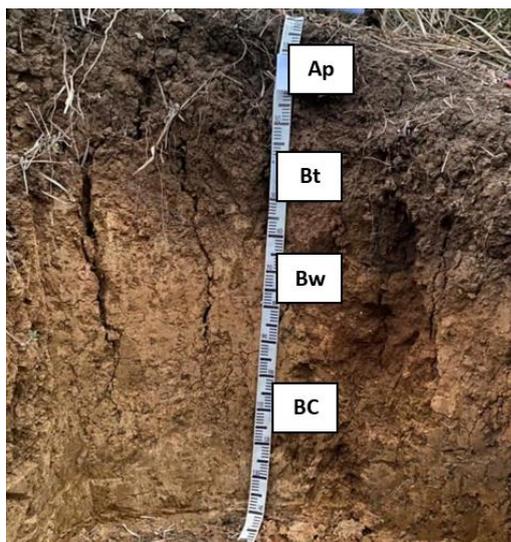


Figura 6. Perfil 2 del sector Callancas.

Condiciones Físicas:

En la capa 00-30 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,42 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que se encuentra dentro del rango para una textura franco arcillosa. El volumen total de poros (33,99 % θ_v) que corresponde a un valor medianamente bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de (15,67 % θ_v) valor que evidencia menos de la mitad de la porosidad total del suelo constituida

por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (7,50 % θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (10,81 % θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es 81,69 % θ_v valor considerado alto, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre.

Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (11,04 % θ_v) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable (7,27% θ_v) en el rango bajo.

En la capa 30-50 cm (horizonte B_t) la densidad aparente es de 1,48 g.cm⁻³, el volumen total de poros (32,95 % θ_v) se lo considera valor medio. La retención de agua a pF 4,20 es de 16,52 % θ_v valor que se evidencia mayor de la mitad de la porosidad total del suelo constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (5,33 % θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (11,09 % θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es considerado como alto (83,57 % θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (8,29 % θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (8,14 % θ_v) en el rango bajo (Tabla 4 y 5). La figura 6 evidencia la curva del pF, con la cual se verificó las condiciones físicas del perfil 2 de la finca Callancas.

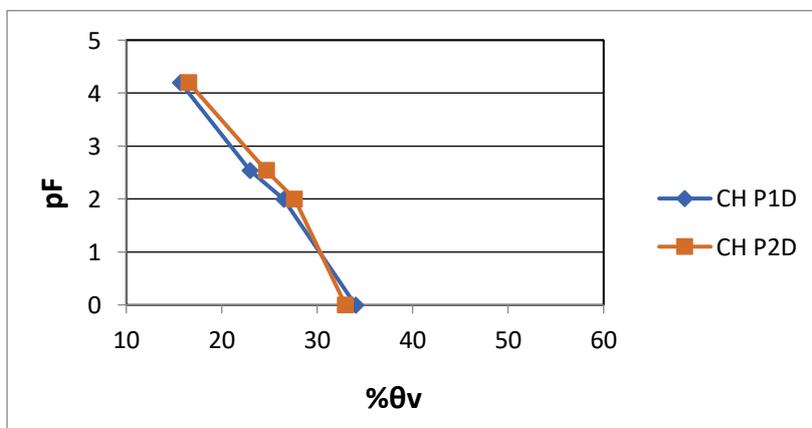


Figura 7. Representación gráfica de la Curva del pF del perfil 2.

Condiciones Químicas:

En las condiciones químicas el p_H_{H₂O} se obtuvo un valor de 6,84 considerado prácticamente neutro, la MO se encuentra con un porcentaje de 4,52 para una textura franco

arcilloso y la CIC es de 22,40 meq/100g ubicándose dentro del rango medio (Tabla 6).

Fertilidad Actual:

En los resultados de los análisis químicos se observó un contenido de elementos disponibles de Ca, Mg y Cu que se encuentran en el rango alto, el K, Mn y Zn en un rango medio y el N, P, Fe y B en el rango bajo (Tabla 7).

6.2. Plan de fertilización para maíz

Para dar respuesta a los bajos niveles de producción en el sector Callancas producto de la baja fertilidad de sus suelos, se elaboró el siguiente plan de fertilización utilizando como base los mejores resultados obtenidos de los diferentes niveles de fertilización en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (Anexo 9 y 10).

Debido a que el perfil 1 (Anexo 11) presenta las mismas características que el perfil 2 se utilizó los fertilizantes similares, entre ellos: Nitrato de K, rafos, úrea, abotek, muriato de K, 10-30-10, fosfato diamónico, nitrato de amonio, borax, sulfato de Zn, sulfato de Mn; en el Anexo 10 se presenta el porcentaje de nutrimento que presenta cada fertilizante, para suplir los requisitos del cultivo de maíz.

Tabla 8. CICE del suelo para el Sector Callancas

| B. intercambiables | cmol.kg⁻¹ | cmol.kg⁻¹ | Total |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
| K ⁺⁺ | 0,26 | 0,20 | 0,47 |
| Ca ⁺⁺ | 20,50 | -- | 20,50 |
| Mg ⁺⁺ | 4,88 | -- | 4,88 |
| Na ⁺⁺ | 0,11 | -- | 0,11 |
| CICE 1 | 25,75 | CICE 2 | 25,95 |

CICE: Capacidad Intercambio de Cationes Efectivo

La CICE es de 25,75 cmol.kg⁻¹ el K⁺⁺ de 0,26, Ca⁺⁺ de 20,56, Mg⁺⁺ 4,88, Na⁺⁺ 0,11; es importante mantener en equilibrio los cationes, para ello se agregó 0,20 cmol.kg⁻¹ para el K⁺⁺ porque es el elemento más bajo, dando una nueva CICE un total de 25,95 cmol.kg⁻¹.

Tabla 9. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la finca Callancas

| SB | Enmienda | | | Relación de cationes | | | | |
|-----------|------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------|
| | Antes (%) | Después (%) | R. óptimo (%) | Antes cmol kg⁻¹ | Agregar | Después cmol.kg⁻¹ | R. óptimo cmol.kg⁻¹ | |
| Ca | 79,61 | 79,00 | 60-70 | Ca Mg ⁻¹ | 4,20 | 4,20 | 2-5 | |
| Mg | 18,95 | 18,81 | 15-25 | Mg K ⁻¹ | 18,77 | K | 10,61 | 2,5-10 |
| K | 1,01 | 1,77 | 10-15 | (Ca+Mg) K ⁻¹ | 97,62 | K | 55,17 | 10-40 |

Fuente: El autor, 2022.

La relación de cationes Mg K⁻¹ y (Ca+Mg) K⁻¹ no se encuentran en los rangos requeridos

es por ello que para suplir la gran deficiencia de K existente se requiere 439,65 kg. ha⁻¹ de Muriato de potasio en el Anexo 12, se indica el porcentaje de K que muestra este fertilizante.

Tabla 10. Plan de Fertilización para maíz en la finca Callancas

| Elemento | kg.ha ⁻¹ | g.planta ⁻¹ | Fuente |
|----------|---------------------|------------------------|-------------------------------------|
| N | 161 | 2,25 | Rafos, Úrea, Nitrato de amonio. |
| P | 61 | 0,85 | Abotek, 10-30-10, Fosfato diamónico |
| K | 316 | 4,42 | Muriato de K, Nitrato de K |
| Mn | 0,94 | 0,01 | Sulfato de Mn |
| B | 0,39 | 0,01 | Bórax |
| Zn | 0,29 | 0,00 | Sulfato de Zn |

Fuente: El autor, 2022.

El plan de fertilización se lo realizó con el fin de aplicarlo de manera edáfica en la época de invierno, de la semana 0 a 7 para suplir las necesidades del suelo, empezando en el mes de enero que es donde la zona comienza con el proceso de siembra del cultivo de maíz.

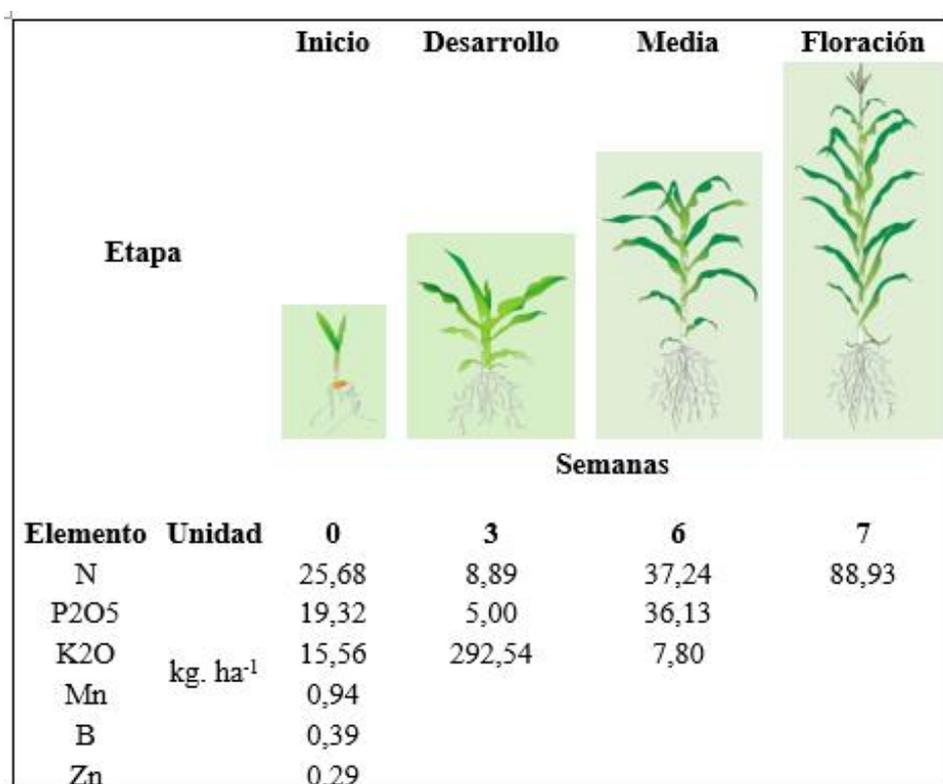


Figura 8. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes.

7. Discusión

El suelo del sector Callancas se caracteriza por ser muy pobre debido a sus condiciones físicas esto coincide con Valarezo et al. (1998) quienes determinan que la baja capacidad de aireación es la principal limitación que influye en la pobreza de los suelos respecto a sus condiciones físicas y afecta el adecuado crecimiento de las plantas en la región sur del Ecuador, de igual manera Soto (2022) corrobora en el sistema de riego Aguarongo – Zañe de la parroquia Chuquiribamba que las condiciones físicas del suelo para el uso de pasto y maíz en la primera capa va de categoría pobre a medio y en el segundo horizonte se encontraba en rango de muy pobre a pobre.

La capacidad de aireación esta entre muy bajo y bajo a $pF_{2,00}$ y el agua aprovechable es de rango medio al respecto Salamanca y Sadeghian (2005) argumentan que esto sucede por la reducción de macroporos e incremento de microporos, Vistoso y Martínez (2020) añade que, en caso de ingresar grandes cantidades de ganado vacuno en poca área de terreno, se presenta un hábito que modifica la estructura del suelo debido a la presión que ejerce el pisoteo de los animales, esto concuerda con Ramírez, (2023) y Fernández et al. (2006) reafirman que el pastoreo en clima mediterráneo árido provoca la disminución de la porosidad total, agua útil, densidad aparente, y aumenta la resistencia a la penetración, así mismo, Valarezo et al. (2020) aseveran que los terrenos del piso temperado Andino Sur del Ecuador ocupados por pasto tienen la capacidad de aireación muy baja y por ende lenta descomposición de la materia orgánica.

En relación a las condiciones químicas el pH es prácticamente neutro (P1C: 6,63; P1C: 6,84), valores que discrepan de USDA (1999) quien afirma que rangos de: 6= moderadamente ácido, 6,5= ligeramente alcalino y 7= neutro, Deras (2020) agrega que es el pH óptimo para la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de maíz. La materia orgánica contiene 4,52 % valor medio Molina (2013) corrobora que valores de MO de rango medio se encuentran del 2 al 5 %.

La CICE de la zona de estudio es de $25,75 \text{ cmol.kg}^{-1}$ que corresponde al rango alto, Guerrero (1993) citado en Rincón (2012) coincide que valores mayores a 20 son considerados como un alto índice de CICE, mientras que Toledo (2016) difiere con los resultados aseverando que valores mayores a 10 cmol.kg^{-1} pertenecen a altos rangos de CICE. De acuerdo a Padilla (2007) esto se explica por valores de pH altos que tienden a ser alcalinos, grandes cantidades de Ca^{++} y demasiada arcilla presente en el suelo, además, se toma en cuenta la pérdida de bases y principalmente la cantidad de materia orgánica.

Zambrano (2019) asevera que el plan de fertilidad se realiza considerando en un principio el requerimiento del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) el plan de fertilización se planificó para cuatro etapas fenológicas

(Tabla 10), Sánchez (2022) en el informe técnico de producción y cosecha de maíz agosto añade que para altos rendimientos de (20,97 t.ha⁻¹) se usa una dosis de: N; 145, P; 60 y K; 162 kg.ha⁻¹. Por otra parte, Ramón (2014) discrepa al realizar un estudio comparativo de cinco niveles de N usando dos fuentes de fertilizantes nitrogenados en maíz (*Zea mays* L.) correspondientes (20 a 25 kg. ha⁻¹) de N por cada t de grano producida. Moreira (2021) para la fertilización nitrogenada del cultivo maíz (*Zea mays* L.) en la provincia de Santa Elena a distancias de siembra 0,8 x 0,20 m; 0,8 x 0,25 m; 0,8 x 0,30 m usó 3 dosis de nitrógeno (120, 150 y 180 kg. ha⁻¹) y obtuvo altos rendimientos de 17,07 t. ha⁻¹. Aguilar (2019), al evaluar los efectos de los diferentes niveles de fertilización con NPK: T1(60 P₂O₅; 150 K₂O), T2 (180 N; 60 K₂O), T3 (180 N; 60 P₂O₅), T4 (180 N; 60 P₂O₅; 150 K₂O), T5 (160 N; 60 P₂O₅; 90 K₂O) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) sembrado en condiciones de secano en la zona de Ventanas expone que los rendimientos obtenidos mediante la adición de fertilizantes son mayores en comparación a las plantas que se desarrollaron en un suelo sin aplicación de fertilizantes, obteniendo una producción de hasta 10,39 t.ha⁻¹ evitando limitar el desarrollo de la planta.

La deficiencia de micronutrientes conduce a alteraciones fisiológicas que afectan la producción de los cultivos, ya que la mayoría de ellos realizan funciones que están involucradas en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos Kirkby y Romheld (2008) citados en Cedeño *et al.* 2018. En cuanto a los micronutrientes: Mn; 0,39, B; 0,94 y Zn; 0,29 kg. ha⁻¹ hubo bajo contenido, Laaz (2021) agrega que bajos contenidos de micronutrientes conllevan a niveles deficientes en la productividad del cultivo. FAO (2002) citada en Castro (2018) reitera que los micronutrientes se utilizan en cantidades mínimas a pesar de ello, son sustancias claves para el crecimiento y producción mejorando la baja fertilidad de los suelos sobreexplotados.

Para el equilibrio de la relación de cationes se utilizó 316 kg. ha⁻¹ de (KCl) para suplir la deficiencia de K, INIAP (2018) alude que existe flexibilidad en la relación catiónica, pero cuanto más extenso es el desequilibrio más síntomas de insuficiencia se presentan afectando la productividad del cultivo por el exceso de un catión que inhibe la absorción del otro. Moro (2015) afirma que la relación adecuada de cationes (Ca + Mg) K⁻¹ <40 es óptima y mayor a este existe deficiencia de K para este caso se agregó 0,2 meq. kg⁻¹ de K con el cual se aproxima a los rangos óptimos.

8. Conclusiones

- La presente investigación proporciona una descripción general de las características físicas y químicas de suelo de la finca Callancas cantón Pindal. En donde, las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas son muy pobres y no son aptos para el desarrollo del cultivo de maíz, el AA se ubica en rango medio, existe una baja capacidad de aireación y en cuanto a las condiciones químicas la CIC y MO es media, el suelo muestra prácticamente un pH_{H_2O} deficiente en macro y micronutrientes: N, P, K, Mn, S, B y Zn.
- El plan de fertilización se diseñó en función de las características físicas y químicas del recurso edáfico del área de estudio y en función de los requerimientos nutricionales del maíz por etapa fenológica (inicio, desarrollo, media y floración) con el propósito de mejorar el rendimiento del cultivo.

9. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la caracterización física-química del suelo de las zonas dedicadas a la producción de maíz y otros productos agrícolas antes de establecer la programación de los cultivos con énfasis en un mayor rendimiento agrícola.
- Realizar nuevas investigaciones sobre las características físicas y químicas del suelo del cantón Pindal, para mediante los resultados obtenidos tomar medidas que aporten al mejoramiento de los suelos en diferentes zonas de estudio.

10. Bibliografía

- Aguilar, J. (2019). Evaluación de los diferentes niveles de fertilización con NPK en el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) sembrado en condiciones de secano en la zona de Ventanas. [Tesis de grado, Facultad de ciencias agrarias, Universidad Técnica Estatal Península de Quevedo]. Repositorio institucional-UTEQ
- Aguilera, S. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. 1-40. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>
- Amézquita, E., Rubiano, Y. y Orozco, O. (2004). La condición física del suelo y su importancia en el manejo integral del suelo. Centro de información de recursos naturales. 1-7
- Ansorena, J. (2013). Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio. Departamento de agricultura y espacios naturales
- Arredondo, C. (2012). Software para el manejo de fertilizantes orgánicos en la comunidad de San Bartolo Acolman. [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio institucional-UAEM
- Blanquer, J., Ibañez, S. y Moreno, H. (2010). La textura del suelo. Universidad Politécnica de Valencia. 1-8. <http://hdl.handle.net/10251/7775>
- Bonadeo, E., Moreno, I., Bongiovanni, M., Marzari, R., y Ganum, M. (2017). El sistema suelo-planta principios generales. 1ª ed. UniRío Editora. <http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-204-0.pdf>
- Carrillo, M., Cedeño, J., Aldean, A. y Davila, S. (2010). Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz, en Santo Domingo de los Colorados y Patricia Pilar. [XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo]. Universidad Tecnológica Equinoccial, Campus, Santo Domingo
- Carrillo, M., Durango, W., Cargua, J., Rivadeneira, B. y Morales, F. (2019). Variación en la absorción de macronutrientes en híbridos de maíz duro. Avances en ciencias e ingenierías. 11 (17), 72-83
- Castro, E. (2018). “Fertilización química con micronutrientes en el híbrido de maíz, INIAP H-603 en Lodana, Cantón Santa Ana, Provincia de Manabí”. [Tesis de grado, Facultad de

- ciencias agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio institucional-Uleam
- Cedeño, F., Cargua, J., Cedeño, J., Mendoza, J., López, G. y Cedeño, G. (2018). Aplicación foliar de micronutrientes y fitoreguladores como complemento de la fertilización edáfica en maíz amarillo duro. *Revista de las Agrociencias*. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.
- Celi, F., Pineda, D. y Cobos, C. (2023). Áreas geográficas de producción de maíz duro en la provincia de Loja–Ecuador. *Opuntia Brava*, 15(1), 191-205. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1747>
- Chamba, K. y Riofrío, M. (2015). Producción y comercialización de maíz en Pindal. [Tesis de grado, Área Administrativa, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio institucional-UTPL
- Chávez Martínez, O. F. (2022). Situación del cultivo de maíz en Guatemala: principales limitaciones en la productividad. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 14(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2596>
- Deras, H. (2020). Guía técnica: el cultivo de maíz. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., y Acevedo, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 141-155.
- FAO. (2002). Guía sobre fertilizantes y sus usos. (2da ed). FAO. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- Fernández, L., Buyolo, T. y Cabezas, J. (2006). Efectos del pastoreo en clima mediterráneo árido sobre propiedades físicas del suelo. Badajoz, España. <https://www.edafologia.net/revista/tomo13c/articulo161.pdf>.
- GAD-Chaquinal. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Chaquinal. Secretaria Nacional de Planificación.

- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Revista SciELO. Pastos y Forrajes* vol.35 n°.2 Matanzas. 125-138.
<http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>
- Gil, G., y Pszczólkowski, P. (2015). *Viticultura: Fundamentos para optimizar producción y calidad*. Segunda edición ampliada y actualizada. Ediciones UC.
- Hernández, F. y Muñoz, F. (2009). Influencia de las curvas de retención de humedad en la estimación de la evaporación de acuíferos someros. Estudio en zona no saturada del suelo. Volumen IX. Pontificia Universidad Católica de Chile., pp 01-18
- Hernández, L. (2021). Plan de fertilización del área agrícola, unidad de experimentación y validación el plantel, 2021 [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional-UNA
- Hurtado, C. (2014). “Estudio de Alternativas de Fertilización Edáfica y Foliar, en un Híbrido Comercial de Maíz (*Zea Mays*. L), en La Zona de Balzar, Provincia del Guayas” [Tesis de grado, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional-SPOL
- INIAP. (2018). Alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sostenible en la Amazonía ecuatoriana. [1er Congreso Internacional]. MBA
- INPOFOS (1997), Manual internacional de fertilidad de suelos. Quito, Ecuador
- Iñareta, J., Orcaray, L., Rodríguez, J., Malumbres, A., Bozal, J., Díaz, E. y Torrecilla, J. (2015). Fertilización razonada del maíz elección de los abonos, dosis y momentos de aplicación. *Dianelt*. 18-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5181430>
- Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61
- Jurado, E. y Zambrano, J. (2020). Efecto de aplicaciones foliares de molibdeno sobre el uso eficiente de nitrógeno y rendimiento en maíz amarillo duro. [Tesis de grado, Área Agropecuaria, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López]. Repositorio institucional-ESPAMMFL

- Laaz, R. (2021). Efecto de aplicaciones foliares de zinc sobre el uso eficiente de nitrógeno y rendimiento en maíz amarillo duro. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio institucional-ESPAMMFL
- Lal, I. (2004). Soil carbón sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Leon, J. (2011). Interacción estática suelo estructura análisis con el método de elementos finitos. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional-UPS
- MAG. (2021). Ficha del cultivo de maíz duro seco (*Zea mays*. L). <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/maiz>
- Molina, E. (2013). Análisis de suelos y su interpretación. Centro de investigaciones agronómicas. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Moreno, H., Blanquer, J. y Ibañez, S. y. (2010). Color del suelo. Universidad Politécnica de Valencia. 1-7. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8008/Color%20del%20suelo.pdf>
- Moreira, K. (2021). Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de maíz (*Zea mayz* L.) “ilusión cpr” en río verde. [Tesis de grado, Facultad de ciencias agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio institucional-UPSE
- Moro, A. (26 de noviembre de 2015). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. AQM Laboratorios. <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Navarro, G., y Navarro, G., (2013). Química agrícola Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (3a ed.). Mundi-Prens
- Ortega, N. (2021). Evaluación del ciclo ontogénico y el rendimiento, de cuatro híbridos de maíz duro amarillo bajo diferentes niveles de fertilización en el cantón Pindal de la provincia de Loja. [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional-UNL

- Pacheco, F. y Silva, F. (2012). Desarrollo sostenible y sustentable de la producción de maíz en el cantón Pindal, provincia de Loja por el período comprendido 2006 a 2011. [Tesis de grado, Área Administrativa, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. Repositorio institucional-UPS
- Padilla, W. (2007). manejo de la química y fertilidad de los suelos (4.a ed.)
- Quiroga, A., Fernández, R. y Álvarez, C. (2018). Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/114961/CONICET_Digital_Nro.004feb64-8f54-4a1a-8200-c2913b702596_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ramírez, P. (2023). Evaluación de la calidad del suelo bajo diferentes tipos de usos, mediante parámetros físicos y químicos en la parroquia 12 de diciembre, cantón Pindal, provincia de Loja. [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional-UNL
- Ramón, J. (2019). Estudio comparativo de cinco niveles de nitrógeno usando dos fuentes de fertilizantes nitrogenados en maíz (*Zea mays* L.). [Tesis de grado, Facultad de ciencias agrarias, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional-UG
- Reinoso, F. (2011). Riegos y Drenajes. (Vol. Unidad 3). Loja, Ecuador
- Rincón, A. (2012). Acidificación de los suelos e intercambio catiónico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA . <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19501>
- Rodríguez, M. y Flórez, V. (2004). Elementos esenciales y beneficiosos. Repositorio institucional de la Universidad de Almeida. <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de león, J.,y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía. Universidad La República. Montevideo, Uruguay, pp.68
- Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397
- Sánchez, H. (2022). Informe técnico de producción y cosecha de maíz agosto de 2022. Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba. Universidad Nacional de Loja

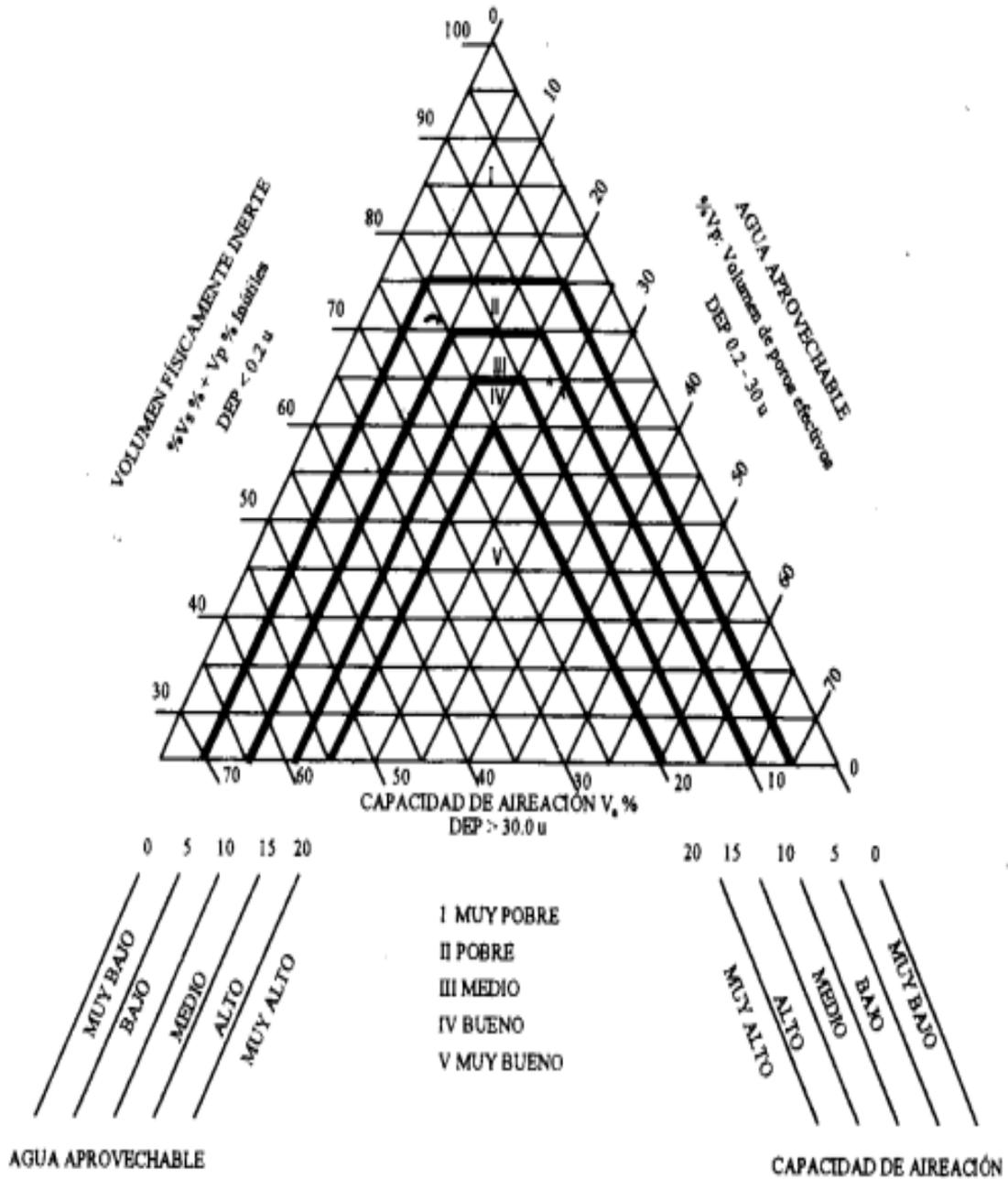
- Solís, M. (2011). Levantamiento edafológico y agrológico con fines de planificación agropecuaria de la hacienda Bernabé Pedro Vicente Maldonado Ecuador. [Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio institucional-ESPE
- Soto, R. (2022). Evaluación de las propiedades físicas de los suelos en el sistema de riego Aguarongo-Zañe de la parroquia Chuquiribamba. [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional-UNL
- Stewart, W. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 67(7)
- Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. (1ª ed). Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria DICTA. <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>
- USDA. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ada%20para%20la%20Evaluaci%C3%b3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- Valarezo, C. (2012). El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: Elementos sobre génesis, mineralogía, características físico-químicas y fertilidad. Loja: Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., y Guaya, P. (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador, Loja: Gráficas Cosmos
- Valarezo, L., Valarezo, C., y Mancino, M. (2020). Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del piso temperado andino del sur del Ecuador. Loja, Ecuador. EDILOJA. <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2021-01/Produccio%CC%81n%20Agropecuaria%20Sostenible%20en%20Suelos%20Arcillosos%20del%20Piso%20Temperado%20Andino%20del%20Sur%20del%20Ecuador.pdf>
- Vázquez, A., Vázquez, I., Vázquez, C. y Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la ingeniería de riegos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú. Fondo editorial.

<https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>

- Vega, V. (2011). Diseño de un sistema de riego a gravedad. [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio institucional-USFQ
- Villamagua, M. (2022). Plan de fertilización/ Entrevistado por Paola Gaona. Oficinas de la Carrera de Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional de Loja
- Vistoso, E. y Martínez, J. (2020). Aguadas superficiales para conservación del suelo y almacenamiento de agua en la Región de Los Ríos. (N° 232). INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3979/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%20232?sequence=1&isAllowed=y>
- Zambrano, C. y Andrade, M. (2021). Productividad y precios de maíz duro pre y post COVID-19 en el Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 143-150
- Zambrano, P. (2019). Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional-UNL
- Zari, B. (2014). Determinación de las fases fenológicas, fenométricas e índice de balance hídrico en el cultivo de maíz duro (*Zea Mays. L*), bajo condiciones de secano, en el cantón Pindal provincia de Loja. [Tesis de grado, Área Biológica, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio institucional-UTPL

11. Anexos

Anexo 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Fuente: Valarezo et al. 1998.

Anexo 2. Descripción de los perfiles del suelo de la zona de estudio.



Anexo 3. Análisis del material parental en la zona de estudio

Andesita (Roca Volcánica)



Andesita alterada (manchada con óxidos, hidróxidos y suelos).



La muestra de material parental tomada del perfil 1 de la primera calicata luego de su revisión y análisis por el ingeniero Luis Angamarca se encontró que este tipo de roca es una andesita de origen volcánico y en la muestra del perfil 2 de la misma manera se encontró con una roca de tipo andesita pero en este caso se encuentra alterada por manchas con óxidos, hidróxidos y suelos; en su mineralogía presentan los minerales esenciales que las componen como son plagioclasa, piroxeno y hornblenda, tomando en cuenta que la plagioclasa es el fenocristal que suele ser el más abundante, mostrando su textura porfídica.

Anexo 4. Toma de muestras para enviar a laboratorio.

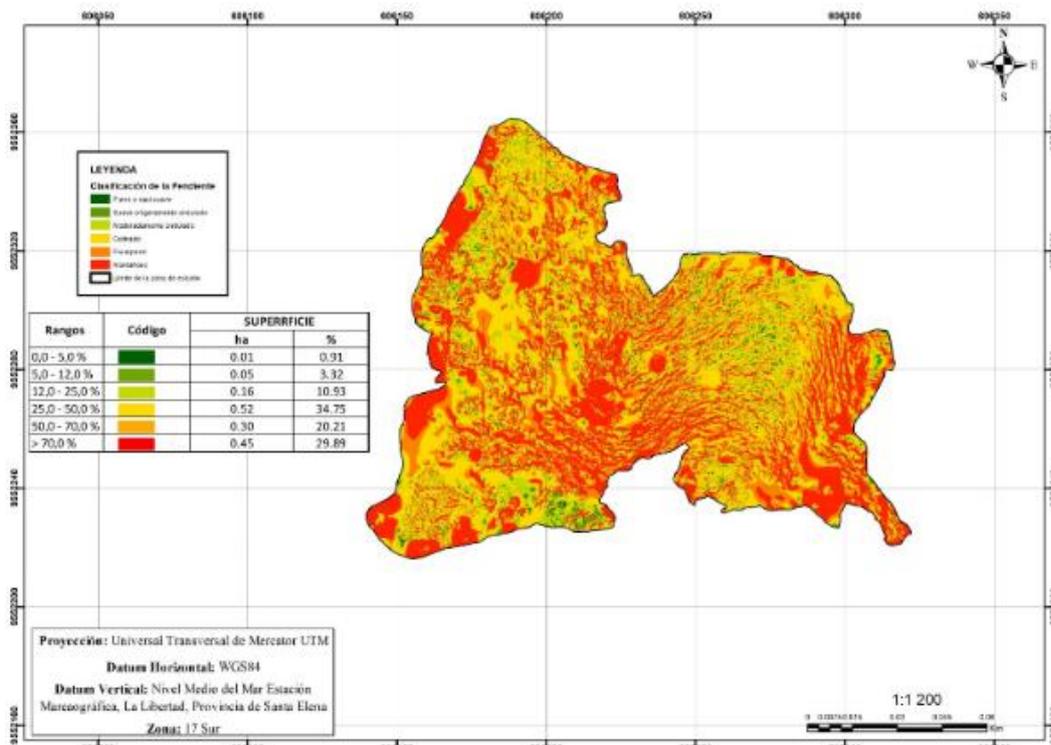


Anexo 5. Productividad de los híbridos sembrados en diferentes lotes del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

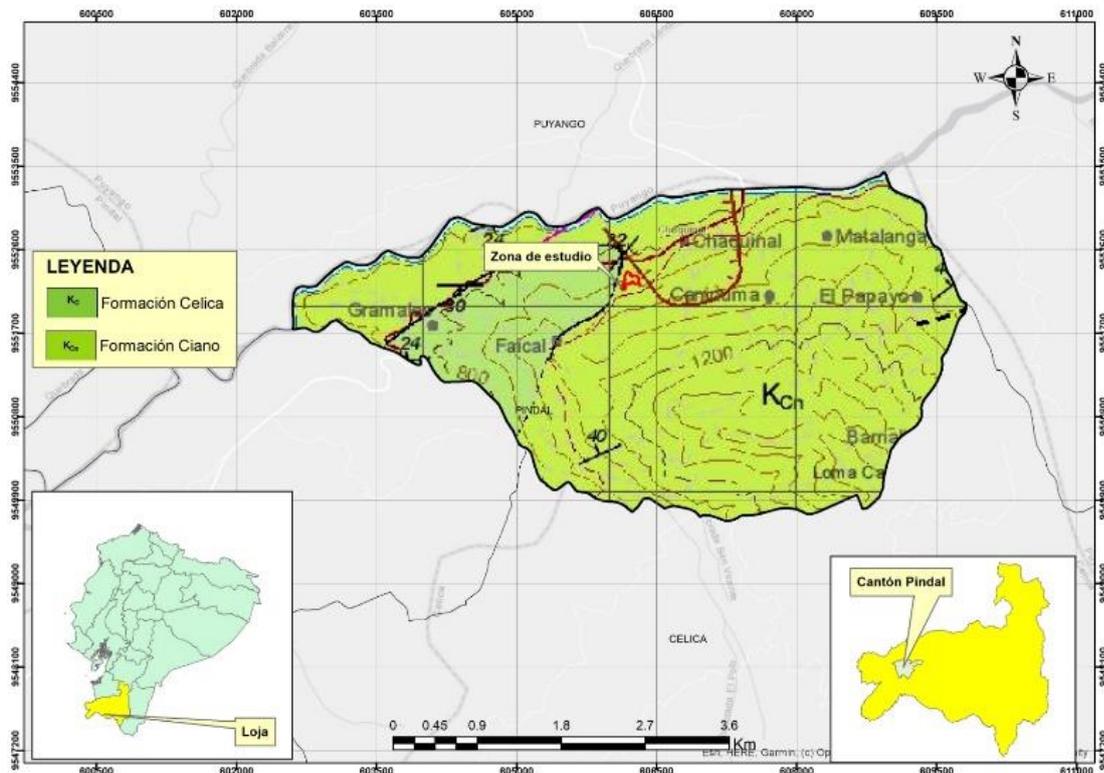
| Híbrido | Productividad t.ha ⁻¹ |
|---------|-------------------------------------|
| Nidera | 10,30 |
| Somma | 11,60 |
| Tornado | 13,70 |
| Advanta | 15,60 |
| Dekalb | 20,97 |

Fuente: El autor, 2022.

Anexo 6. Mapa de Pendientes de la zona de estudio



Anexo 7. Mapa Geológico de la zona de estudio



Anexo 8. Ficha de descripción de los perfiles de suelos del sector Callancas en los sitios seleccionados en función de la pendiente del terreno.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas, cantón Pindal”

FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS

Código: P1C **Fecha:** 06/05/2022 **Autor:** Fernanda Livisica y Miguel Villamagua **Sitio:** Callancas

Altitud (m s.n.m.): 867 **Coordenadas:** 606279 O 9552290 S

Paisaje: Pie de montaña

Tipo de relieve: Loma

Forma del Terreno: Pendiente media.

Pendiente: 15%

Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

Condiciones de Humedad: Seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Andesita (Roca Volcánica).

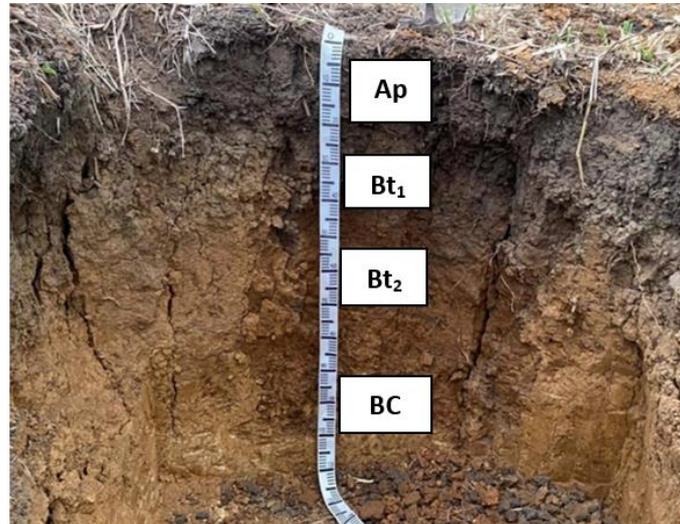
Profundidad de la capa freática: profundidad 0 cm **Fluctuación:** 0 cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):

Orden: Alfisols; **Suborden:** Ustalfs; **Gran grupo:** Paleustalfs; **Sub grupo:** Udic Paleustalfs.



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Perfil integrado por 4 horizontes: Ap, Bt₁, Bt₂ y BC de colores claros de texturas arcillosas, finas con presencia de grietas hasta los 120 cm de 2cm de ancho y espaciadas de 25 a 30cm, dentro de su profundidad existen pocas raíces y lixiviación de materia orgánica, profundidad efectiva hasta los 25cm, a partir de ahí existe una mezcla, composición de un BC integrado por material edafizado y de un material proveniente de la matriz parental andesita.

Descripción individual de los horizontes o Capas PIC.

Ap 00 – 20 cm (10YR 4/4) marrón amarillento oscuro en seco; arcilloso al tacto; bloques angulares, gruesos, fuertemente desarrollados; muy firme; poros comunes y grandes, raíces muy finas, finas; límite neto y plano.

Bt₁ 20 – 40 cm (10YR 5/4) marrón amarillento en seco; arcilloso al tacto; bloques subangulares, gruesos, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico; cutanes muy pocos y finos; poros, medios y finos; raíces, pocas; límite gradual y plano.

Bt₂ 40 – 75 cm (75YR 4/6) marrón fuerte en seco; arcillo limoso al tacto; extremadamente fuerte, bloques prismáticos, bien desarrollado; raíces, muy finas y pocas; límite difuso y gradual.

BC 75 – 120 cm (5YR 5/6) rojo amarillento en seco; arcillo limoso al tacto; bloques moderados, prismáticos y gruesos; muy duro; poros, pocos y finos; raíces, muy pocas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas, cantón Pindal”

FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS

Código: P2C **Fecha:** 06/05/2022 **Autor:** Fernanda Livisaca y Miguel Villamagua **Sitio:** Callancas

Altitud (m s.n.m.): 870 **Coordenadas:** 606208 O 9552320 S

Paisaje: Pie de montaña.

Tipo de relieve: Loma

Forma del Terreno: Pendiente media

Pendiente: 20%

Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

Condiciones de Humedad: Seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0 cm

Afloramientos rocosos: 0 % **Tipo:** No **Material parental:** Andesita alterada (manchada con óxidos, hidróxidos y suelos).

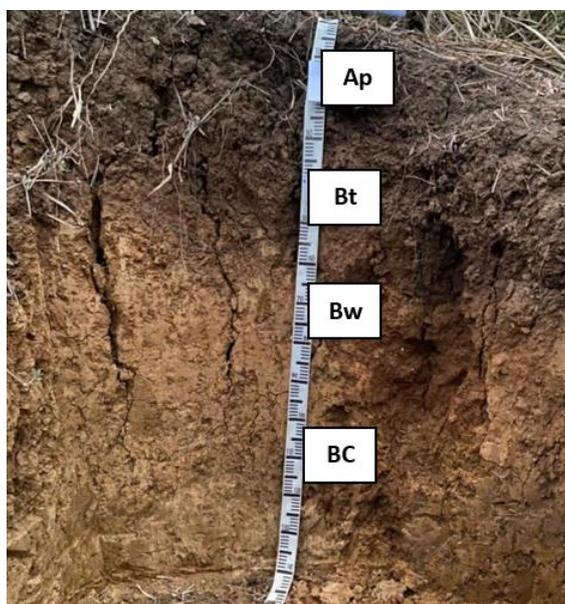
Profundidad de la capa freática: profundidad 0 cm **fluctuación:** 0 cm

Presencia de Sales o Alcalis: Libre

Drenaje: Bueno

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):

Orden: Alfisols; **Suborden:** Ustalfs; **Gran grupo:** Haplustalfs; **Sub grupo:** Inceptic Haplustalfs.



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo formado por 4 horizontes genéticamente bien desarrollados, un Ap de 30 cm de espesor, sobre un Bt que va de los 30 a 50 cm, Bw con una profundidad de 50 a 65 cm y finalmente un horizonte BC en proceso de desarrollo, la profundidad efectiva llega hasta los 100 cm, presenta estructuras prismáticas bien desarrolladas, textura fina (Fo.Ar), grietas que llegan hasta los 100cm de profundidad, de ancho 1cm y espaciamiento de 25 a 35cm.

Descripción individual de los horizontes o Capas P2C.

Ap 00 – 30 cm (10YR 4/4) marrón amarillento oscuro en seco; arcilloso al tacto; bloques subangulares, medios a gruesos, fuerte desarrollo; poros muchos, finos, pocos, medios y gruesos, raíces en la parte superior comunes, finas y muy finas pocas; límite neto y plano.

Bt 30 – 50 cm (10YR 5/4) marrón amarillento en seco; arcilloso al tacto; bloques subangulares a prismáticas de fuerte desarrollo; muy adherente, muy plástico; poros, muchos y finos, gruesos pocos; raíces, finas y comunes; sin presencia de rocas, límite gradual y plano.

Bw 50 – 65 cm (5YR 4/6) rojo amarillento en seco; arcilloso al tacto; fuerte desarrollo, bloques prismáticos a gruesa muy gruesa; poros muchos y finos, medios, pocos y gruesos muy pocos, raíces, muy finas y muy pocas; límite gradual y plano.

BC 65 – 140 cm (5YR 5/6) rojo amarillento en seco; arcillo limoso al tacto; bloques débiles, prismáticos y más finos; raíces muy finas y muy pocas.

Anexo 9. Resultados obtenidos de los diferentes niveles de fertilización en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

| Semana | N | P₂O₅ | K₂O |
|---------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|
| | 144,60 | 60,46 | 161,98 |
| 0 | 23,10 | 19,30 | 7,98 |
| 3 | 8,00 | 5,00 | 150,00 |
| 6 | 33,5 | 36,10 | 4,00 |
| 7 | 80,00 | | |
| Total | 144,60 | 60,46 | 161,98 |

Fuente: El autor, 2022.

Anexo 10. Distribución de requerimientos por elementos del híbrido con mayor producción Dekalb.

| Semana | N | P₂O₅ | K₂O | CaO | MgO | S |
|---------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|------------|------------|----------|
| 0 | 15,98 | 31,95 | 4,93 | | | |
| 3 | 5,53 | 8,28 | 92,60 | | | |
| 6 | 23,20 | 59,77 | 2,47 | 100 | 16,67 | 16,67 |
| 7 | 55,33 | | | | 83,33 | 83,33 |
| Total % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: El autor, 2022.

Anexo 11. Plan de fertilización para el perfil 1 de la finca Callancas.

| Elemento | Kg.ha ⁻¹ | g.planta ⁻¹ | Fuente |
|----------|---------------------|------------------------|-----------------|
| N | 121 | 1.69 | Rafos, Úrea |
| P | 61 | 0.85 | Rafos, 10-30-10 |
| K | 316 | 4.42 | Nitrato de K |
| Mn | 1.35 | 0.02 | Sulfato de Mn |
| B | 0.39 | 0.01 | Bórax |
| Zn | 0.63 | 0.01 | Sulfato de Zn |

Fuente: El autor, 2022.

Anexo 12. Composición química de los fertilizantes utilizados para el plan de fertilización.

| Fertilizante | Contenidos de Nutrimientos (%) | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|-----|------|------|----|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | MgO | S | Zn | B | Mn |
| Rafos | 12 | 24 | 12 | - | 2 | 1 | 0,02 | 0,04 | - |
| Nitrato de K | 13 | - | 44 | 0,5 | 0,5 | - | - | - | - |
| Úrea | 46 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Abotek | 15 | 4 | 23 | - | 4 | 2 | 0,01 | 0,01 | - |
| Muriato de K | - | - | 60 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | - | - | - |
| 10-30-10 | 10 | 30 | 10 | - | - | - | - | - | - |
| Fosfato diamónico | 18 | 46 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| Nitrato de amonio | 34 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bórax | - | - | - | - | - | - | - | 11 | - |
| Sulfato de Zn | - | - | - | - | - | 11 | 34 | - | - |
| Sulfato de Mn | - | - | - | - | - | 18 | - | - | 31 |

Fuente: El autor, 2022.

Anexo 13. Certificación del Abstract.

Loja, 4 de septiembre de 2023

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.

Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

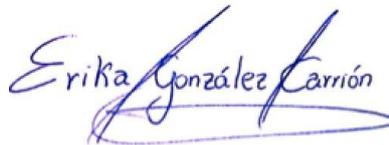
Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la Comunicación de la Universidad Nacional de Loja

CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL> así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: “**Caracterización física y química del suelo de la finca Callancas cantón Pindal**”; de la autoría de la señorita estudiante: **Paola Elizabeth Gaona Moncada**, con CI: **1104946619**, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada, señorita **Paola Elizabeth Gaona Moncada**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



Dra. Erika González Carrión. PhD.

Docente de la Facultad de la Educación, el Arte y la
Comunicación Universidad Nacional de Loja