



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN ESPECÍFICA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y  
CAMBIO CLIMÁTICO

## Trabajo de Tesis

Variabilidad temporal de las propiedades físicas  
y químicas de los suelos en unidades productivas  
de la empresa EQUIFOREST en la región del  
Pacífico, 2012-2023.

### Autor(es)

Br. Juana María Soza Mejía  
Br. Joost Alexanco Cordonero Hernández

### Asesor(es)

Ing. Mariann José Espinoza Acuña  
Lic. Frankling Calero Montano

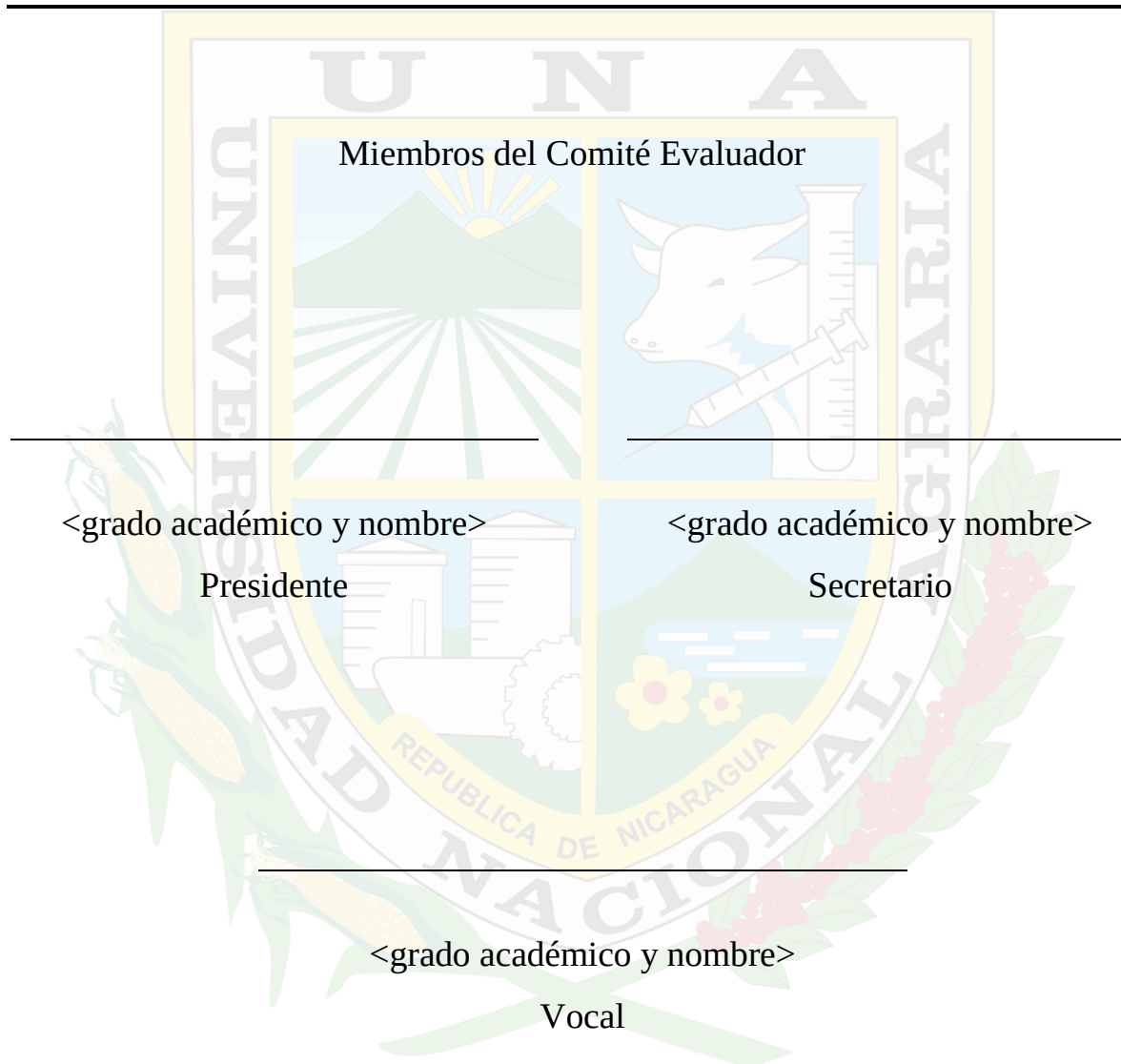
Presentado a la consideración del honorable comité  
evaluador como requisito final para optar al grado de  
Ingeniero en Recursos Naturales

Managua, Nicaragua  
Octubre, 2024

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero en Recursos Naturales con mención en Gestión Ambiental

---



Miembros del Comité Evaluador

---

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| <grado académico y nombre> | <grado académico y nombre> |
| Presidente                 | Secretario                 |

---

<grado académico y nombre>

Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, <día/mes/año>

---

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico primeramente a Dios que me dio la fortaleza y salud para poder culminar mi carrera, luego a mi padre, quien con su amor y apoyo incondicional me ha guiado a través de cada paso de mi vida. Su fe en mí ha sido la fuerza motriz detrás de cada logro.

A mis profesores y asesores, por su dedicación y paciencia, por compartir su conocimiento y sabiduría, y por inspirarme a alcanzar la excelencia.

Finalmente, dedico esta tesis a todas aquellas personas que formaron parte en el transcurso de mi carrera brindando su apoyo.

**Juana María Soza Mejía**

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por la salud e inspiración para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.

También, a mis Padres, por su amor, trabajo y acompañamiento en todos estos años; gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y privilegio de ser su hijo, y de tenerlos como padres.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a mi compañera y docentes tutores que me compartieron sus conocimientos.

**Joost Alexanco Cordonero Hernández**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero que nada, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, luego a mi padre: José Félix Soza, por siempre apoyarme y estar ahí cuando lo necesito cuya guía y apoyo han sido invaluableles durante este proceso. Su paciencia, conocimiento y dedicación han sido una fuente constante de inspiración.

También agradezco a: Johana Hernández y Orlando Cordonero, gracias por todo su apoyo constante y por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía. Este logro no hubiera sido posible sin ustedes.

Por último, a mi compañero de tesis: Joost Cordonero, agradeciendo su apoyo y acompañamiento en el transcurso de estos años y a cada una de las personas que me apoyaron.

**Juana María Soza Mejía**

Le agradezco a Dios por darme salud y guiarme a lo largo de mi existencia.

Gracias a mis padres: Johana Hernández y Orlando Cordonero, por ser los principales motores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

También, le agradezco a mi compañera: Juana Soza Mejía; por compartir sus conocimientos y llevar a cabo este trabajo. De manera especial a nuestros docentes tutores, por confiar en nosotros, apoyarnos y aconsejarnos.

De igual manera, a las personas que me ayudaron en todo el proceso, no solo de la investigación, sino también a lo largo de toda la carrera.

**Joost Alexanco Cordonero Hernández**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

| SECCIÓN                                                    | PÁGINA      |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>DEDICATORIA</b>                                         | <b>ii</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO</b>                                      | <b>iii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>                                 | <b>iv</b>   |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b>                                   | <b>vi</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                                   | <b>vii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>                                    | <b>xi</b>   |
| <b>RESUMEN</b>                                             | <b>xii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                            | <b>xiii</b> |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b>                                     | <b>1</b>    |
| <b>II. OBJETIVOS</b>                                       | <b>3</b>    |
| 2.1. Objetivo general                                      | 3           |
| 2.2. Objetivos específicos                                 | 3           |
| <b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>                            | <b>4</b>    |
| <b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>                            | <b>7</b>    |
| 4.1. Ubicación del estudio                                 | 7           |
| 4.1.1. Nandaime                                            | 7           |
| 4.1.2. El Sauce                                            | 8           |
| 4.1.3. Chinandega                                          | 8           |
| 4.2. Diseño metodológico                                   | 9           |
| 4.2.1. Selección de la muestra                             | 9           |
| 4.2.2. Identificación de grupo taxonómico de suelo         | 11          |
| 4.2.3. Obtención de la muestra                             | 11          |
| 4.2.4. Análisis de datos                                   | 11          |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                           | <b>14</b>   |
| 5.1. Clasificación taxonómica de los suelos                | 14          |
| 5.1.1. Núcleo Nandaime, Granada                            | 14          |
| 5.1.2. Núcleo El Sauce, León                               | 27          |
| 5.1.3. Núcleo Chinandega, Chinandega                       | 39          |
| 5.2. Variación en las propiedades fisicoquímicas del suelo | 53          |
| 5.2.1. pH                                                  | 53          |
| 5.2.2. Carbono Orgánico y Nitrógeno                        | 55          |

|              |                                 |           |
|--------------|---------------------------------|-----------|
| 5.2.3.       | Fósforo                         | 58        |
| 5.2.4.       | Bases (K, Ca, Mg)               | 60        |
| 5.2.5.       | Microelementos (Fe, Mn, Cu, Zn) | 63        |
| 5.2.6.       | Textura y Densidad Aparente     | 67        |
| <b>VI.</b>   | <b>CONCLUSIONES</b>             | <b>71</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>RECOMENDACIONES</b>          | <b>73</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>LITERATURA CITADA</b>        | <b>74</b> |
| <b>IX.</b>   | <b>ANEXOS</b>                   | <b>77</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| SECCIÓN                                                                                            | PÁGINA |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Cuadro 1. Cantidad de calicatas descritas por municipio en 2022-2023                               | 10     |
| Cuadro 2. Fechas del primer y segundo análisis realizado en los suelos de las unidades productivas | 10     |
| Cuadro 3. Descripción del perfil no. 34, finca Fátima, Nandaime, 2022.                             | 16     |
| Cuadro 4. Descripción del perfil no. 21, finca Las Mercedes, Nandaime, 2022                        | 18     |
| Cuadro 5. Descripción del perfil no. 27, finca Las Mercedes, Nandaime, 2022.                       | 19     |
| Cuadro 6. Descripción del perfil no. 7, finca Valle Menier, Nandaime, 2022.                        | 20     |
| Cuadro 7. Descripción del perfil no. 172, finca Fátima, Nandaime, 2022                             | 22     |
| Cuadro 8. Descripción del perfil no. 174, finca Fátima, Nandaime, 2022.                            | 23     |
| Cuadro 9. Descripción del perfil no. 35, finca San Rubén, Nandaime, 2022.                          | 26     |
| Cuadro 10. Descripción del perfil no. 63, finca Las Pilas, El Sauce, 2022.                         | 28     |
| Cuadro 11 Descripción del perfil no. 74, Hato Nuevo, El Sauce, 2022.                               | 30     |
| Cuadro 12. Descripción del perfil no. 77, La Flor, El Sauce, 2022                                  | 30     |
| Cuadro 13. Descripción del perfil no. 78, El Picacho, El Sauce, 2022.                              | 31     |
| Cuadro 14. Descripción del perfil no. 79, finca La Chácara, El Sauce, 2022.                        | 32     |
| Cuadro 15. Descripción del perfil no. 165, finca El Pavón, El Sauce, 2022.                         | 34     |
| Cuadro 16. Descripción del perfil no. 57, finca Rancho Liseth, El Sauce, 2022.                     | 35     |
| Cuadro 17. Descripción del perfil no. 171, finca Limón-Lavanderos, El Sauce, 2022.                 | 36     |
| Cuadro 18. Descripción del perfil no. 71, Hato Viejo, El Sauce, 2022.                              | 37     |
| Cuadro 19. Descripción del perfil no. 55, finca Palo Blanco, El Sauce, 2022.                       | 39     |
| Cuadro 20. Descripción del perfil no. 119, finca La Chorrera, Chinandega, 2023.                    | 41     |
| Cuadro 21. Descripción del perfil no. 128, finca La Argentina, Chinandega, 2023.                   | 42     |
| Cuadro 22. Descripción del perfil no. 149, finca Pereira, Chinandega, 2023.                        | 43     |
| Cuadro 23. Descripción del perfil no. 151, finca El Rodeo, Chinandega, 2023.                       | 45     |
| Cuadro 24. Descripción del perfil no. 155, finca Genesis, Chinandega, 2023.                        | 46     |
| Cuadro 25. Descripción del perfil no. 129, finca El Salvador, Chinandega, 2023.                    | 47     |
| Cuadro 26. Descripción del perfil no. 137, finca Tecolostote, Chinandega, 2023                     | 48     |
| Cuadro 27. Descripción del perfil no. 162, finca San José 2, Chinandega, 2023.                     | 49     |
| Cuadro 28. Descripción del perfil no. 96, finca Poza de la Vaca, Chinandega, 2023.                 | 50     |
| Cuadro 29. Descripción del perfil no. 154, finca La Chiveca, Chinandega, 2023.                     | 52     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| SECCIÓN                                                                                                                                                                                                   | PÁGINA |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Macro localización de las fincas administradas por EQUIFOREST                                                                                                                                   | 7      |
| Figura 2. Ubicación geográfica de las calicatas del núcleo de Nandaime                                                                                                                                    | 15     |
| Figura 3. Perfil no. 34, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.          | 16     |
| Figura 4. Perfil no. 21, finca Las Mercedes, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.    | 17     |
| Figura 5. Perfil no. 27, finca Las Mercedes, Nandaime . (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.   | 18     |
| Figura 6. Perfil no. 7, finca Valle Menier, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.     | 20     |
| Figura 7. Perfil no. 10, finca Valle Menier, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.    | 21     |
| Figura 8. Perfil no. 10, no. 172, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022. | 22     |
| Figura 9. Perfil no. 174, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.         | 23     |
| Figura 10. Perfil no. 14, finca Las Mercedes, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.   | 24     |
| Figura 11. Perfil no. 37, finca Los Alpes, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.      | 25     |
| Figura 12. Perfil no. 35, finca San Rubén, Nandaime. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.      | 26     |
| Figura 13. ubicación geográfica de las calicatas del núcleo del Sauce-León                                                                                                                                | 27     |
| Figura 14. Perfil no. 63, finca Las Pilas, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.      | 28     |
| Figura 15. Perfil no. 74, finca Hato Nuevo, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.     | 29     |



|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 16. Perfil no. 77, La Flor, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.                 | 30 |
| Figura 17. Perfil no. 78, El Picacho Viejo, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.        | 31 |
| Figura 18. Perfil no. 79, finca La Chácara, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.        | 32 |
| Figura 19. Perfil no. 165, finca El Pavón, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.         | 33 |
| Figura 20. Perfil no. 57, finca Rancho Liseth, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.     | 35 |
| Figura 21. Perfil no. 171, finca Limón-Lavanderos, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022. | 36 |
| Figura 22. Perfil no. 71, finca Hato Viejo, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.        | 37 |
| Figura 23. Perfil no. 55, finca Palo Blanco, El Sauce. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.       | 39 |
| Figura 24. Ubicación geográfica de las calicatas del núcleo de Chinandega                                                                                                                                    | 40 |
| Figura 25. Perfil no. 119, finca La Chorrera, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.    | 41 |
| Figura 26. Perfil no. 128, finca La Argentina, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.   | 42 |
| Figura 27. Perfil no. 149, finca Pereira, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.        | 43 |
| Figura 28. Perfil no. 151, finca El Rodeo, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.       | 44 |
| Figura 29. Perfil no. 155, finca Genesis, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.        | 46 |
| Figura 30. Perfil no. 129, finca El Salvador, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.    | 47 |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 31. Perfil no. 137, finca Tecolostote, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.    | 48 |
| Figura 32. Perfil no. 162, finca San José 2, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.     | 49 |
| Figura 33. Perfil no. 96, finca poza de la Vaca, Chinandega. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023. | 50 |
| Figura 34. Perfil no. 154, finca La Chiveca. (a) plantación de <i>Tectona grandis</i> circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.                 | 51 |
| Figura 35. Comparación de los resultados de potencial de Hidrogeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, Chinandega.                                                                                 | 54 |
| Figura 36. Comparación de los resultados de potencial de Hidrogeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce.                                                                                             | 55 |
| Figura 37. Comparación de los resultados de Carbono Orgánico del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                             | 57 |
| Figura 38. Comparación de los resultados de Nitrógeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                    | 57 |
| Figura 39. Comparación de los resultados de Fosforo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime.                                                                                                            | 59 |
| Figura 40. Comparación de los resultados de Fosforo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce, Chinandega.                                                                                                | 59 |
| Figura 41. Comparación de los resultados de Potasio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                      | 62 |
| Figura 42. Comparación de los resultados de Calcio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                       | 62 |
| Figura 43. Comparación de los resultados de Magnesio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                     | 63 |
| Figura 44. Comparación de los resultados de Hierro del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                       | 64 |
| Figura 45. Comparación de los resultados de Manganeso del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce.                                                                                                | 64 |
| Figura 46. Comparación de los resultados de Manganeso del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Chinandega.                                                                                                        | 65 |
| Figura 47. Comparación de los resultados de Cobre del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                        | 65 |
| Figura 48. Comparación de los resultados de Zinc del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                         | 66 |
| Figura 49. Comparación de los resultados de Arcilla del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                      | 68 |
| Figura 50. Comparación de los resultados de Arena del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.                                                                                        | 68 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 51. Comparación de los resultados de Limo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.    | 69 |
| Figura 52. Comparación de los resultados de Densidad aparente del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, Chinandega. | 69 |
| Figura 53. Comparación de los resultados de Densidad aparente del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce.             | 70 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| SECCIÓN                                                                                                                                                                    | PÁGINA |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Anexo 1. Resultados de los qqplot (gráficos de cuantiles) de Calcio, Cobre, Potasio, Magnesio, carbono orgánico e Hidrogeno de los núcleos de Nandaime, Sauce y Chinandega | 77     |
| Anexo 2. Resultados de los qqplot (gráficos de cuantiles) de Fosforo, Manganeso, Hierro, Zinc y potencial de hidrogeno de los núcleos de Nandaime, Sauce y Chinandega      | 78     |
| Anexo 3. Resultados p-valué con la prueba T y Wilcoxon para muestras dependientes                                                                                          | 79     |
| Anexo 4. Base de datos del año 2012 y 2022-2023.                                                                                                                           | 80     |
| Anexo 5. Base de datos del año 2012 y 2022-2023.                                                                                                                           | 80     |

## RESUMEN

La comprensión de las características del suelo es crucial para optimizar las prácticas de manejo forestal y mejorar la productividad de las plantaciones forestales. Este estudio explora la variabilidad de las propiedades físicoquímica del suelo y su influencia en la producción de forestal. El área de estudio corresponde a tres núcleos de unidades productivas con *Tectona grandis* administradas por EQUIFOREST, localizadas en Nandaime, El Sauce y Chinandega. El propósito es determinar la variabilidad temporal de las propiedades físicoquímica de los suelos muestreados en el año 2012 y 2022-2023. Para tal fin, se tomaron 10 muestras por núcleo, las cuales fueron descritas y clasificadas según la clave taxonómica de suelos de la USDA. Las muestras fueron remitidas a LAQUISA para determinar las propiedades físicoquímicas de los suelos y compararlas con los resultados registrados en el año 2012. El análisis estadístico fue realizado con la prueba T para muestras dependientes, con el fin de comprobar la existencia de diferencias significativas entre las medias de las propiedades químicas y físicas del suelo. En general, los parámetros que muestran variabilidad temporal son pH, carbono orgánico, nitrógeno, las bases y microelementos. También, el Fósforo tiene mayor variabilidad en el núcleo de Chinandega. El Hierro y el carbono orgánico inciden en el potencial de hidrogeno y por consiguiente en la disponibilidad de nitrógeno. Las bases del suelo, aumentan significativamente hasta un 50% y en el caso de los microelementos, valores intermedios a altos, favoreciendo condiciones nutricionales para *T. grandis*. Este análisis nos permite identificar la variabilidad en las propiedades del suelo y por ende facilitar la gestión de los suelos. Se recomienda el muestreo y análisis del suelo cada cinco años, con miras a garantizar un buen seguimiento a las necesidades nutricionales de *T. grandis*.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*, muestreo del suelo, factores formadores, prueba T.

## ABSTRACT

Understanding soil characteristics is crucial for optimizing forest management practices and improving forest plantation productivity. This study explores the variability of soil physicochemical properties and their influence on forest production. The study area corresponds to three nuclei of productive units with *Tectona grandis* managed by EQUIFOREST, located in Nandaime, El Sauce and Chinandega. The purpose is to determine the temporal variability of the physicochemical properties of the soils sampled in 2012 and 2022-2023. For this purpose, ten samples were taken per core planting, which were described and classified according to the USDA soil taxonomic key. The samples were sent to LAQUISA to determine the physicochemical properties of the soils and compare them with the results recorded in 2012. The statistical analysis was performed with the T-test for dependent samples, to evaluate for the existence of significant differences between the means of the chemical and physical properties of the soil. In general, the parameters that show temporal variability are pH, organic carbon, nitrogen, bases, and microelements. The incidence of phosphorus in the variability of the soil in the Chinandega nucleus is highlighted. Iron and organic matter affect the hydrogen potential and consequently the availability of nitrogen. The soil bases, increasing significantly up to 50% and in the case of microelements, intermediate to high values, favoring nutritional conditions for *T. grandis*. This analysis allows us to identify variability in soil properties and thus facilitate soil management. Soil sampling and analysis is recommended every five years, with a view to ensure good monitoring of the nutritional needs of *T. grandis*.

**Key words:** *Tectona grandis*, soil sampling, soil forming factors, T-test.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años Nicaragua ha dado algunos pasos en la producción de madera en plantaciones. El Diagnóstico del Sector Forestal de Nicaragua, publicado por el Banco Interamericano de Desarrollo (2018), determinó que las plantaciones forestales tienen un gran potencial en el país, que además de los beneficios económicos, quitaría gran presión a los bosques naturales y suelos. Esto ha dado apertura a empresas como EQUIFOREST, que desde el 2012 maneja fincas reforestadas de diferentes inversionistas con el fin de administrar todas las operaciones de manejo forestal del proyecto Nica teca, siendo la Teca (*Tectona grandis*), la especie forestal de interés.

Alvarado (2006), expresa que *T. grandis* puede remover apreciables cantidades de nutrientes, sin embargo, puede crecer en suelos relativamente infértiles con buena estructura, drenaje, enmiendas y fertilizantes. En ciertas ocasiones, el crecimiento de *T. grandis* se ve afectado por factores edáficos adversos en el subsuelo.

Algunos autores indican que las plantaciones forestales podrían ejercer un efecto en las características de los suelos. Raison (1984) expresa que el proceso de plantación puede generar problemas relacionados a erosión por preparación del sitio, desarrollo y cuidados de la plantación, cosecha y aprovechamiento final; y Camino & Bodowski (1998) que, durante el crecimiento de la plantación, el exceso de densidad y la falta de luz impide el desarrollo de un sotobosque suficientemente denso, incrementando el peligro de escorrentía y por lo tanto erosión de suelo que se traduce en arrastre de nutrientes.

Sin embargo, Prado (2005), afirma que la cubierta forestal de las plantaciones reduce los procesos erosivos y promueve los procesos químicos y biológicos, recuperando así, los suelos degradados. Este beneficio provisto por parte de las plantaciones hacia los suelos es bilateral puesto que su mantenimiento es vital para la sustentabilidad ambiental y económica de los sistemas forestales, siendo la variabilidad en sus propiedades físicas y químicas, determinantes para el desarrollo de especies forestales como *T. grandis*.

El suelo es variable a nivel espacial y temporal, “las propiedades del suelo varían conforme ocurren los cambios del paisaje y del relieve, y por este motivo un muestreo de suelo eficaz es aquel capaz de detectar tales variaciones de las propiedades del suelo” (Siqueira et al., 2007). Jenny (1941) afirma que todos los suelos son anisotrópicos, es decir la distribución espacial de las características del suelo no es aleatorias, sino es distinto en diferentes direcciones del espacio. Por tal razón se expresa que “el suelo tiene un perfil” el cual debe ser estudiado.

Ante estas premisas, surge el interés de comprender la variabilidad temporal de las características de los suelos de las fincas administradas por EQUIFOREST, tomando como punto de partida un estudio de suelos realizado en el año 2012 que consta de información detallada sobre calicatas descritas en Chinandega, León, Granada y Carazo, en donde la principal hipótesis de este trabajo es que el tiempo producen cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos.



## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar la variabilidad temporal en las propiedades físicas y químicas de los suelos con plantaciones de *T. grandis*, muestreados en el año 2012 y periodo 2022-2023 en fincas ubicadas en la región Pacífico de Nicaragua.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Clasificar los suelos a nivel de subgrupo taxonómico a partir de la identificación de los horizontes y características diagnósticas.
- Identificar variaciones en las propiedades fisicoquímicas de los suelos descritos en un periodo de 10 años.
- Comprobar la existencia de diferencias significativas entre las medias de las propiedades químicas y físicas del suelo.

### III. MARCO DE REFERENCIA

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014), el suelo es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural.

Chaves y Fonseca (1991), reportan que al momento de establecer plantaciones forestales de *T. grandis* deben considerar diversos factores limitantes para su crecimiento, como son los suelos poco profundos, el mal drenaje, suelos compactados y la textura arcillosa, los sitios bajos con alta precipitación o sin un período seco marcado de tres a cinco meses.

El diagnóstico de los aspectos químicos de la fertilidad del suelo recaba información del potencial de un suelo para abastecer los nutrimentos que requiere un cultivo, permite identificar problemas de carácter nutrimental o no nutrimental, que podrían estar afectando o afectarían el desarrollo y crecimiento. Los análisis químicos incluyen a las variables químicas asociadas directamente con la fertilidad de los suelos y los indicadores químicos de la disponibilidad nutrimental. Entre los primeros se encuentran el potencial de hidrogeno (pH) y materia orgánica (MO). Etchevers y Padilla (2007)

El clima y la vegetación actúan sobre el material parental del suelo para convertirlo en un cuerpo de suelo natural que tiene horizontes relacionados genéticamente, pero sus efectos están condicionados por el relieve. El material parental imparte algunas características químicas al suelo hasta el grado en que no han sido modificadas por el clima. El tiempo es necesario para que los cambios se efectúen y para que dejen su impresión en el suelo. El tiempo puede ser largo o corto, pero siempre se requiere algún tiempo para el desarrollo de horizontes que caracterizan a un suelo que está en equilibrio con su medio ambiente. (Cruz, 2014)

Investigaciones realizadas por Chaves y Fonseca (1991), indican que la *T. grandis* es una especie que exige suelos fértiles, con alto contenido de cationes (Ca, Mg y K), suelos profundos, bien drenados y con muy buena aireación, estos mismos autores expresan que la fertilización química, debe considerarse una práctica rutinaria en las plantaciones de *T. grandis*, para ello es necesario contar con información referente, al lugar de establecimiento del cultivo.

Rodríguez y Rodríguez (2002), indican que los objetivos de un análisis de suelo es determinar con precisión la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas, tanto deficiencias como los excesos (de acuerdo con los cultivos). Además, ayudan a determinar las necesidades de fertilización. El análisis del suelo probablemente es la opción más práctica para evaluar la fertilidad de estos.

En Nicaragua el establecimiento de plantaciones forestales representa una actividad económica de importancia; el desarrollo de la industria maderera es cada vez mayor en el país, siendo esta una opción sostenible, evitando la deforestación de bosques naturales. Durante 2009 y 2010, la empresa Norteak-HEMCONIC estableció plantaciones comerciales de teca, en las tres Divisiones Forestales (La Embajada, Bonanza y Siuna), en la región del Atlántico del país, para determinar los requerimientos nutricionales de la *T. grandis*.

Equiforest-Nicaragua se ha posesionado como uno de los líderes en la industria forestal, siendo de los mayores productores y exportadores de *T. grandis* en el País. Es la encargada de planificar, dirigir, desarrollar, monitorear y evaluar todas las operaciones forestales en su conjunto, que debe garantizar el aprovechamiento y manejo sostenible de las plantaciones forestales, manejo de bosques remanentes y sistemas silvopastoriles en las tres regiones del pacífico de Nicaragua.

Tomando en cuenta dos momentos de muestreo de los suelos con el objetivo de comparar sus características fisicoquímicas. El primer muestreo se llevó a cabo en el año 2012, proporcionando una línea base de datos sobre las propiedades del suelo en esa época. Posteriormente, en el año 2022, se realizó un segundo muestreo en las mismas áreas,

permitiendo una evaluación comparativa de los cambios ocurridos en las propiedades fisicoquímicas del suelo a lo largo de una década. Estos muestreos son fundamentales para entender la evolución y dinámica de los suelos en respuesta a factores ambientales y antropogénicos.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Ubicación del estudio

El área de estudio corresponde a la superficie territorial de una muestra de 52 fincas administradas por EQUIFOREST en los municipios El Viejo, Villanueva y Chinandega del departamento Chinandega; El Sauce, Telica y Quesalguaque en León; Jinotepe de Carazo y Nandaime de Granada.

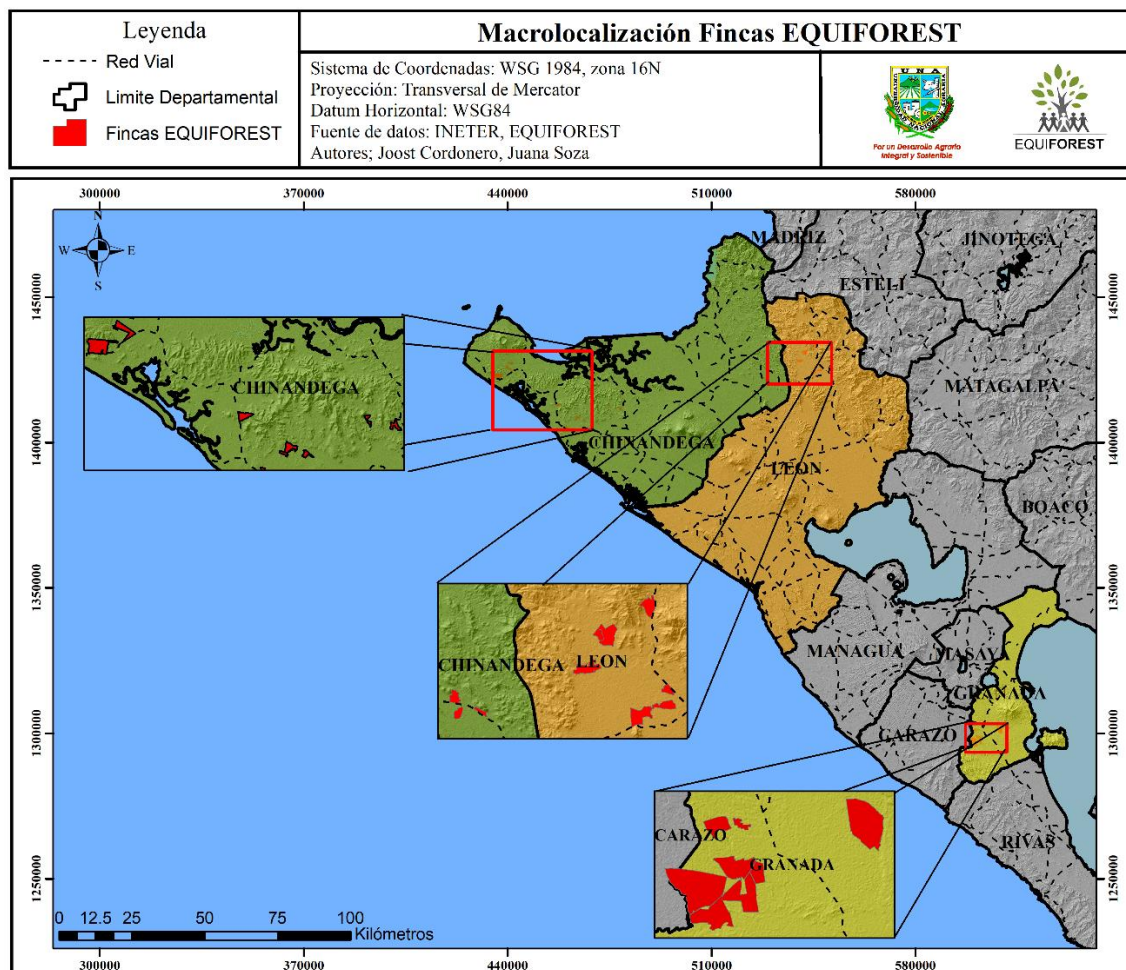


Figura 1. Macro localización de las fincas administradas por EQUIFOREST

#### 4.1.1. Nandaime

**Clima:** Nandaime tiene un clima tropical con una temporada de lluvias y una temporada seca. La temporada de lluvias es nublada, mientras que la temporada seca es parcialmente nublada y muy calurosa. Las temperaturas varían entre 22°C y 32°C durante el año. La

temporada más calurosa es de abril a mayo, con temperaturas máximas promedio de 32°C, y la temporada más fresca es de noviembre a febrero, con temperaturas máximas promedio de menos de 30°C.

**Relieve:** El relieve de Nandaime es variado, con altitudes que oscilan entre los 81 metros y los 275 metros sobre el nivel del mar. La altitud media es de aproximadamente 142 metros. El municipio está ubicado en una región con abundantes arroyos, lo que contribuye a su fertilidad y aptitud para la agricultura.

**Material Parental:** El material parental del suelo en Nandaime está compuesto principalmente por sedimentos volcánicos y aluviales. Estos materiales proporcionan una base fértil para la agricultura, permitiendo el cultivo de diversos productos como arroz, caña de azúcar, cacao, sandía y maíz.

#### **4.1.2. El Sauce**

**Clima:** El Sauce tiene un clima tropical, caracterizado por una temporada de lluvias y una temporada seca. Las temperaturas varían entre 22°C y 34°C a lo largo del año. La temporada de lluvias, que va de mayo a octubre, es nublada y húmeda, mientras que la temporada seca, de noviembre a abril, es más soleada y calurosa.

**Relieve:** El relieve de El Sauce es variado, ubicándose entre la depresión nicaragüense y las tierras altas del interior. Las altitudes oscilan entre los 100 metros sobre el nivel del mar en las zonas más bajas y los 1,100 metros en las áreas más altas. Este relieve diverso hace que el municipio sea apto para la ganadería, agricultura y apicultura.

**Material Parental:** El material parental del suelo en El Sauce está compuesto principalmente por sedimentos volcánicos y aluviales. Estos materiales proporcionan una base fértil para la agricultura, permitiendo el cultivo de diversos productos agrícolas.

#### **4.1.3. Chinandega**

**Clima:** Chinandega tiene un clima tropical seco, con una temporada de verano que se extiende de noviembre a abril y una temporada lluviosa de mayo a octubre<sup>1</sup>. Las temperaturas

suelen ser cálidas durante todo el año, con máximas que pueden alcanzar los 34°C en los meses más calurosos.

**Relieve:** El relieve de Chinandega es variado, destacándose por la presencia de varios volcanes, entre ellos el volcán San Cristóbal, que es el más alto de Nicaragua con 1,745 metros sobre el nivel del mar. La región también incluye áreas planas y fértiles, ideales para la agricultura.

**Material Parental:** El material parental del suelo en Chinandega está compuesto principalmente por sedimentos volcánicos y aluviales. Estos materiales proporcionan una base fértil para la agricultura, permitiendo el cultivo de una variedad de productos agrícolas, como caña de azúcar, maní, y banano.

#### **4.2. Diseño metodológico**

Esta investigación tuvo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo-comparativo. Según Ruiz (2010), un estudio descriptivo busca especificar las propiedades importantes de un objeto sometido a análisis; así mismo, Müggensburg y Pérez (2007) expresan que un estudio descriptivo comparativo implica describir las diferencias de variables en dos o más grupos. El diseño metodológico contempla las siguientes actividades para la planificación del monitoreo de suelos, ejecución del levantamiento de información de campo, procesamiento y análisis de estos, indicado a continuación:

##### **4.2.1. Selección de la muestra**

Esta actividad implicó una revisión de 180 perfiles descritos en el año 2012, los cuales fueron clasificados a nivel de grupo taxonómico mediante la “Clave para la Taxonomía de Suelos” del USDA (2014), tomando como punto de partida el reconocimiento de los horizontes y características diagnósticas a partir de la información proporcionada para el año 2012.

, -

De la base de datos proporcionada, se seleccionaron 30 calicatas; 10 para cada núcleo administrado por EQUIFOREST. La selección de la calicata se basó en factores como la accesibilidad hacia la calicata, la visibilidad de las características físicas (color, límites de los

horizontes, entre otros) en la fotografía del perfil y una profundidad mayor de 30 cm para el primer horizonte del perfil.

A continuación, se representa las 30 calicatas seleccionadas para este estudio, provenientes de 25 fincas distribuidas en los tres núcleos. Las calicatas se establecieron en las mismas coordenadas geográficas proporcionadas en la base de datos del 2012, considerando un margen de error de 3 a 4 metros.

Cuadro 1. Cantidad de calicatas descritas por municipio en 2022-2023

| Cuadro 1. Cantidad de canchales desiertos por municipio en 2022-2023 |            |                                                                                                                             |          |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Núcleo                                                               | Municipio  | Fincas                                                                                                                      | Cantidad |
| Nandaime                                                             | Nandaime   | Fátima, Las Mercedes, Valle menier, Los Alpes, San Rubén                                                                    | 10       |
|                                                                      |            | Subtotal                                                                                                                    | 10       |
| Chinandega                                                           | Chinandega | La Chorrera, La Argentina, Pereira, El Rodeo, Genesis, El Salvador, Tecolostote, San José 2, Poza de la vaca, La Chiveca.   | 10       |
|                                                                      |            | Subtotal                                                                                                                    | 10       |
| León                                                                 | Sauce      | Las Pilas, Hato Nuevo, La Flor, El Picacho, La Chacara, El Pavón, Rancho Liseth, Limón-Lavanderos, Hato Viejo, Palo Blanco. | 10       |
|                                                                      |            | Subtotal                                                                                                                    | 10       |
| Total                                                                |            |                                                                                                                             | 30       |

En el siguiente cuadro se presenta las fechas correspondientes al primer y segundo análisis realizados. En ella se detallan los momentos específicos en los que se llevaron a cabo la recolección de la muestra, proporcionando una visión clara y organizada de la secuencia temporal de estos eventos.

Cuadro 2. Fechas del primer y segundo análisis realizado en los suelos de las unidades productivas

| Nandaime |        |        | El Sauce |        |        | Chinandega |        |        |
|----------|--------|--------|----------|--------|--------|------------|--------|--------|
| Calicata | 2012   | 2022   | Calicata | 2012   | 2022   | Calicata   | 2012   | 2023   |
| 7        | 22-jun | 4-oct  | 55       | 3-jul  | 21-nov | 96         | 16-jul | 9-feb  |
| 10       | 22-jun | 3-oct  | 57       | 8-jul  | 21-nov | 119        | 12-jul | 8-feb  |
| 14       | 24-jun | 4-oct  | 63       | 5-jul  | 29-nov | 128        | 19-jul | 10-feb |
| 21       | 24-jun | 4-oct  | 71       | 6-jul  | 23-nov | 129        | 19-jul | 10-feb |
| 27       | 30-jun | 4-oct  | 74       | 6-jul  | 28-nov | 137        | 22-jul | 16-feb |
| 34       | 27-jun | 5-oct  | 77       | 7-jul  | 22-nov | 149        | 23-jul | 17-feb |
| 35       | 26-jun | 4-oct  | 78       | 7-jul  | 22-nov | 151        | 20-jul | 9-feb  |
| 37       | 26-jun | 27-oct | 79       | 7-jul  | 22-nov | 154        | 20-jul | 9-feb  |
| 172      | 26-jul | 5-oct  | 165      | 24-jul | 21-nov | 155        | 21-jul | 8-feb  |
| 174      | 26-jul | 5-oct  | 171      | 21-jul | 28-nov | 162        | 22-jul | 16-feb |



#### **4.2.2. Identificación de grupo taxonómico de suelo**

En las calicatas seleccionadas se identificó los subgrupos taxonómicos de suelo, se realizaron observaciones de comprobación, para corroborar las descripciones detalladas e identificar si existen cambios visibles en las características físicas del suelo (color, estructura, consistencia). Para las observaciones de comprobación, en donde se verificó la homogeneidad del color, la textura, estructura, pH y profundidad de los horizontes, se hizo uso de barreno, navaja, cinta métrica, cintas de pH, palín, y tabla Munsell.

#### **4.2.3. Obtención de la muestra**

De las calicatas seleccionada, se tomó una muestra simple de 1 kg del primer horizonte a 30 cm de profundidad, a como fue realizado en el año 2012, con el uso de un palín y una pala. La muestra fue colocada en doble bolsa de polietileno limpia, con una etiqueta entre ambas bolsas.

La etiqueta hizo referencia a la información del suelo conteniendo los siguientes aspectos: nombre del propietario de la finca, nombre de la finca, ubicación geográfica, número de muestra y lote, superficie que representa, pendiente, riesgo de inundaciones, tipo de vegetación, entre otros.

Las muestras debidamente etiquetadas fueron enviadas a LAQUISA, laboratorio en donde se realizó el primer análisis de los siguientes parámetros: Potencial de Hidrogeno, Carbono orgánico, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Densidad aparente, Porcentaje de arcilla, limo y arena.

#### **4.2.4. Análisis de datos**

El procesamiento de los datos recolectados se realizó mediante el programa de hoja de cálculo Microsoft Excel; y el análisis de los datos, a partir del software estadístico R. Mediante estos softwares las variables cuantitativas muestreadas fueron exploradas por medio de tablas de frecuencias, medidas de tendencia central, medidas de dispersión y gráficos estadísticos.

La determinación de existencia de diferencias significativas en los suelos, en dos momentos de muestreo se realizó mediante la aplicación de una prueba t para dos muestras pareadas o dependientes en las variables cuantitativas que cumplan los supuestos indicados a continuación:

- Los valores de los datos deben ser independientes. Las medidas de una observación no afectan a las medidas de cualquier otra observación.
- Los datos de cada grupo se deben obtener a través de una muestra aleatoria de la población.
- Los datos de cada grupo tienen distribución normal.
- Los valores de datos son continuos.
- Las varianzas de los dos grupos independientes son iguales.

Los procedimientos para comparar las medias de dos poblaciones se basan en la relación entre dos conjuntos de datos muestrales, una muestra de cada población. Cuando se involucra muestras dependientes, los datos se consideran “datos pareados”, puesto que se estudia una misma población en dos momentos: un “antes” y un “después”. Los pares de valores de datos se comparan directamente unos con otros usando la diferencia muestral en sus valores numéricos.

Las diferencias entre dos medias cuando se usan muestras dependientes, es equivalente a la media de las diferencias apareadas. Por tanto, cuando se hace una inferencia acerca de la diferencia de dos medias, y se usan diferencias pareadas, la inferencia de hecho será en torno a la media de las diferencias pareadas. El planteamiento de hipótesis es que existen diferencias significativas entre los valores de los parámetros fisicoquímicos analizados en el 2012 y el 2022-2023.

Cuando se pone a prueba una hipótesis nula en torno a la diferencia de medias, el estadístico usado será la diferencia entre la media muestral  $\bar{d}$  y el valor hipotético de  $\mu_d$ , dividido entre el error estándar estimado  $S_d$ , a como se indica a continuación:

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{s_d/\sqrt{n}} \sim t_{(n-1)}$$

Supone que tiene una distribución t cuando la hipótesis nula es verdadera y las suposiciones para la prueba se satisfacen.

En el caso de que los parámetros no sigan una distribución normal, se realizó transformación de los datos, a partir de su normalización o estandarización con respecto a la media y desviación estándar de las muestras, logaritmo neperiano (Ln); logaritmo base 10 (Log10); logaritmo base 2 (Log2), raíz cuadrada, potencia, e inverso, para poder aplicar la prueba “T-Student” para muestras pareadas.

Para aquellos parámetros, cuya transformación no se logró, se utilizó la prueba no paramétrica “Wilcoxon”, la cual es una alternativa de la prueba t para dos muestras dependientes. Parte del supuesto que los datos deben estar medidos a nivel ordinal, y no requiere el supuesto de normalidad de las distribuciones, ni homogeneidad de las varianzas.

R proporciona el valor de v, siendo este la suma de los rangos de las diferencias entre los pares de observaciones, usado para calcular el valor p; el valor p indica la probabilidad de obtener un valor de v al menos tan extremo como el observado si las dos muestras provienen de poblaciones con la misma mediana.

Para interpretar los resultados de ambos métodos (prueba T y Wilcoxon), se debe comparar valor p con el nivel de significancia del 5% (0.05). Si este es menor que el nivel de significancia se puede concluir que hay una diferencia significativa entre las dos muestras.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. Clasificación taxonómica de los suelos**

La clasificación taxonómica de los suelos es un sistema jerárquico que agrupa los suelos en función de características observables o medibles, en este caso se realizaron 30 muestras de suelo, 10 por cada núcleo donde se clasificaron por orden y suborden.

Cada clasificación refleja diferentes propiedades y características del suelo, desde la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico hasta las propiedades físicas y químicas que afectan su respuesta al manejo y manipulación. Esta clasificación es esencial para entender cómo los suelos de diferentes clasificaciones se asocian entre sí.

Es importante destacar que las imágenes presentadas muestran diferencias atribuibles a diversos factores estacionales y técnicos. Las fotografías del 2012, tomadas en junio y julio, muestran un suelo sin humedad. En cambio, en el año 2022 fueron tomadas entre octubre y noviembre, y en febrero de 2023, reflejan un suelo estaba saturado debido a las precipitaciones recientes.

Adicionalmente, cabe mencionar que la iluminación era mayor en el 2012, ya que las plantaciones de *T. grandis* no estaban tan desarrolladas como en el 2022-2023. Asimismo, el ángulo de la toma puede enfatizar o disimular ciertos elementos del perfil.

Es relevante resaltar, que, durante los muestreos y análisis de laboratorio, no se incluyó la medición de sodio (Na), lo que impide calcular la saturación de bases de manera completa y precisa.

#### **5.1.1. Núcleo Nandaime, Granada**

En la figura 2 se presenta con precisión las fincas y calicatas en estudio, situadas en el municipio de Nandaime, Granada. Estas han sido escogidas por su significativa contribución y características únicas relevantes para la investigación. Este mapa ha sido elaborado para facilitar la comprensión de la disposición geográfica de las fincas y las calicatas distribuidas a través del terreno, el cual ofrece una representación exacta y detallada de las localizaciones específicas de las calicatas que son foco de este estudio.

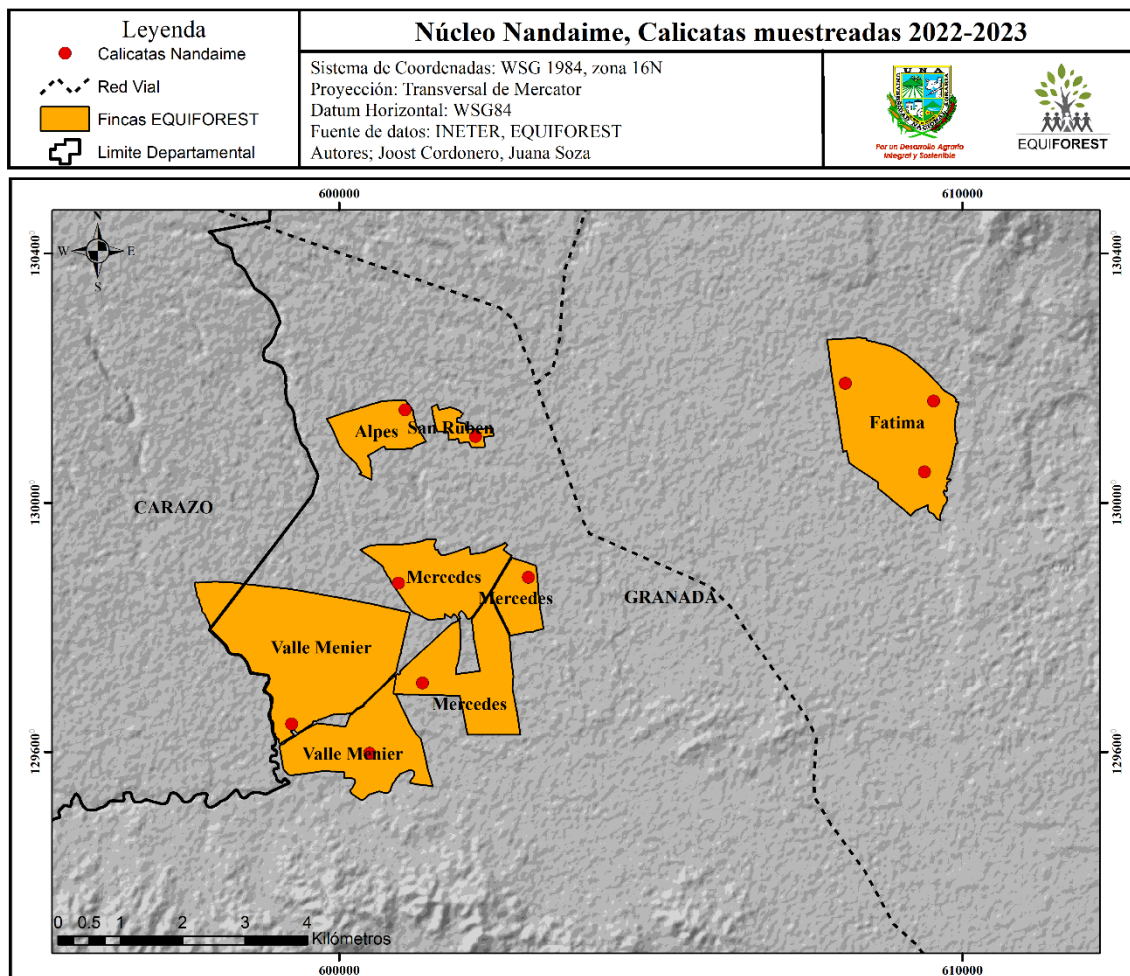


Figura 2. Ubicación geográfica de las calicatas del núcleo de Nandaime

### ***i. Orden Entisol***

Suelos incipientes desarrollados sobre material parental no consolidado que en general no presentan horizontes genéticos (a excepción de un A), ni de diagnóstico. El perfil característico de entisol es AC, ACR, AR.

#### **Vermic Ustorthents**

Suelo en un régimen de humedad ústico, con un contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral, que presenta más del 50% (por volumen) de canales y excretas de lombrices, reflejado en el porcentaje de materia orgánica presente en el horizonte superficial.

### **Perfil no. 34**

Localizado en las coordenadas UTM 609393 y 1300501 a 94 msnm, dentro de la finca Fátima, en el lote A0306T09. Posicionado en un relieve con pendiente ligeramente inclinada (4%), con suelos con abundantes piedras en la superficie y dentro del perfil. Drenaje superficial e interno moderado. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.

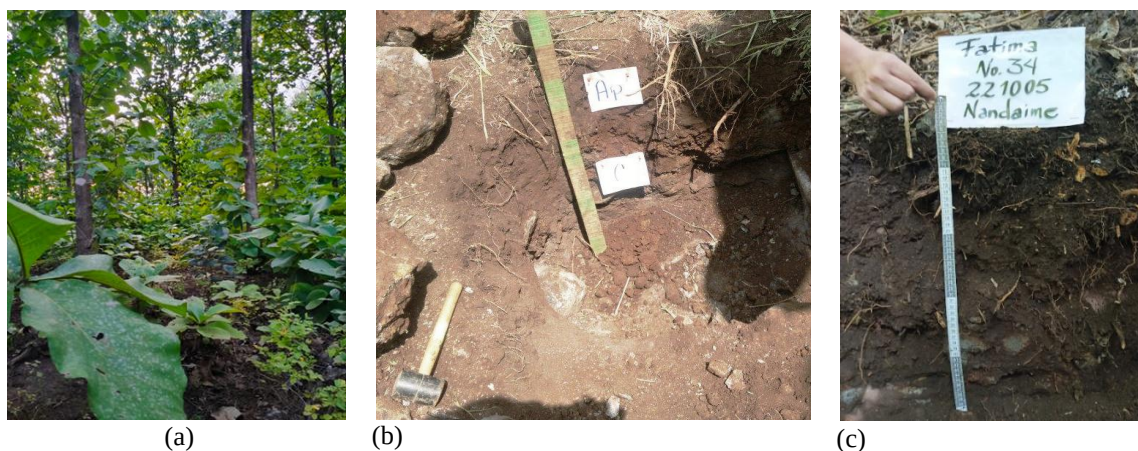


Figura 3. Perfil no. 34, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 3. Descripción del perfil no. 34, finca Fátima, Nandaime, 2022.

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-14<br>cm | Color negro rojizo (2.5YR2.5/1) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura granular con débil resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos y muy finos de tipo vesicular y canales, y abundantes raíces medias y pocas, finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.15 g/ml; pH ligeramente alcalino (7.2); alto contenido de materia orgánica (10.03%); alto contenido de nitrógeno (0.5%); bajo contenido de fosforo (2.26mg/kg); alto contenido de potasio (0.35 cmol+/kg); alto contenido de calcio (27.10 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (10.34 cmol+/kg); contenido moderado de hierro (20.42 mg/kg); alto contenido de cobre (15.76 mg/kg); contenido moderado de zinc (4.72mg/kg); alto contenido de manganeso (48.72mg/kg); bajo contenido de boro (0.18 mg/kg); bajo contenido de azufre (10.6 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (37.9 cmol+/kg). |
| C<br>14-31<br>cm | Color negro rojizo (2.5YR2.5/1) en húmedo; textura areno limoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia muy friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros muy finos vesiculares y canales finos, y presencia común de raíces medias. El límite del horizonte es abrupto y ondulado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| R<br>31+         | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## ii. Orden Inceptisol

Suelos jóvenes que están empezando a presentar desarrollo de horizontes. Presenta uno o más horizontes diagnósticos con génesis de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema. Presentan un horizonte cámbico que está dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral y tiene un límite inferior a una profundidad de 25 cm o más debajo de la superficie del suelo mineral.

Aunque, en estos casos la ausencia del horizonte **Bw** es notable. La presencia de un horizonte **Ap** bien desarrollado y un horizonte **B** con alguna alteración sugiere un desarrollo inicial de horizontes, característico de los Inceptisoles. No presentan materiales sulfídicos dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral.

### Typic humustepts

Suelo inceptisol desarrollado en un régimen de humedad ústico, con presencia de un epipedón úmbrico.

#### Perfil no. 21

Localizado en las coordenadas UTM 603035 y 1298810 a 136 msnm, dentro de la finca Las Mercedes, en el lote A0205T07. Posicionado en un relieve de planicie con pendiente planas (< 2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



(a) (b) (c)  
Figura 4. Perfil no. 21, finca Las Mercedes, Nandaimo. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.



Cuadro 4. Descripción del perfil no. 21, finca Las Mercedes, Nandaime, 2022

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-21<br>cm  | Color café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura bloques subangulares con resistencia moderada. De consistencia muy friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de abundantes poros finos de tipo vesicular y canales, y abundantes raíces finas y medias. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.26 g/ml; pH ligeramente ácido (6.5); contenido moderado de materia orgánica (2.38%); contenido moderado de nitrógeno (0.12%); bajo contenido de fósforo (1.21 mg/kg); contenido moderado de potasio (0.29 cmol+/kg); alto contenido de calcio (16.13 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (9.68 cmol+/kg); alto contenido de hierro (47.92 mg/kg); alto contenido de cobre (26.36 mg/kg); contenido moderado de zinc (1.55 mg/kg); alto contenido de manganeso (22.75 mg/kg); bajo contenido de boro (0.04 mg/kg); bajo contenido de azufre (4.73 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (26.28 cmol+/kg). |
| AB<br>21-30<br>cm | Color café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura bloques subangulares con resistencia moderada. De consistencia muy friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia pocos poros finos de tipo vesicular; y pocas raíces medias y finas. El límite del horizonte es abrupto y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| B<br>+30 cm       | Color café oscuro (7.5YR3/4) en húmedo; textura arcilloso-arenosa; estructura bloques subangulares con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y no adherente y no plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos de tipo vesicular; y pocas raíces finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

### Typic haplustepst

Suelo que presenta las características típicas de un Inceptisol, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

### Perfil no. 27

Localizado en las coordenadas UTM 601340 y 1297108 a 125 msnm, dentro de la finca Las Mercedes, en el lote A0201T07. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2 %). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



(a) (b) (c)  
Figura 5. Perfil no. 27, finca Las Mercedes, Nandaime . (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.



Cuadro 5. Descripción del perfil no. 27, finca Las Mercedes, Nandaime, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-23<br>cm  | Color negro (10YR2/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos de tipo vesicular y canales, y presencia común de raíces finas y pocas raíces medias. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.22 g/ml; pH ligeramente ácido (6.5); contenido moderado de materia orgánica (3.32%); alto contenido de nitrógeno (0.17%); bajo contenido de fósforo (0.95mg/kg); contenido moderado de potasio (0.24 cmol+/kg); alto contenido de calcio (13.09cmol+/kg); alto contenido de magnesio (7.56 cmol+/kg); alto contenido de hierro (133.07 mg/kg); alto contenido de cobre (27.03 mg/kg); contenido moderado de zinc (1.73 mg/kg); alto contenido de manganeso (39.55mg/kg); bajo contenido de boro (0.02 mg/kg); bajo contenido de azufre (8.17 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (22.09 cmol+/kg). |
| BC<br>23-40<br>cm | Color negro rojizo (2.5YR2.5/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia muy friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia pocos poros muy finos de tipo canal; y muy pocas raíces gruesas. El límite del horizonte es abrupto y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| C<br>+40<br>cm    | Color gris oscuro (10YR4/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con resistencia fuerte. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos de tipo vesicular; y muy pocas raíces muy finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

### iii. Orden Alfisol

Suelo que presenta un epipedón plaggen y ya sea, un horizonte argílico, kándico o nátrico. Tienen una saturación de base mayor de 35%, y los horizontes subsuperficiales muestran evidencias claras de traslocación de películas de arcilla.

#### Typic Haplustalfs

Suelo que presenta las características típicas de un alfisol, con horizonte argílico, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

#### Perfil no. 7

Localizado en las coordenadas UTM 599234 y 1296449 a 120 msnm, dentro de la finca Valle Menier, en el lote A0102T07. Posicionado en un relieve de planicie con pendiente planas (< 2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



(a) (b). (c)  
 Figura 6. Perfil no. 7, finca Valle Menier, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 6. Descripción del perfil no. 7, finca Valle Menier, Nandaime, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-30<br>cm  | Color café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y adherente y muy plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos de tipo vesicular y pocas raíces finas y común raíces gruesas. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.26 g/ml; pH ligeramente ácido (6.40); contenido moderado de materia orgánica (3.43%); alto contenido de nitrógeno (0.17%); bajo contenido de fósforo (0.06 mg/kg); alto contenido de potasio (0.877 cmol+/kg); alto contenido de calcio (11.548 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (5.535 cmol+/kg); alto contenido de hierro (74.47 mg/kg); alto contenido de cobre (26.02 mg/kg); contenido moderado de zinc (2.77 mg/kg); alto contenido de manganeso (51.93 mg/kg); bajo contenido de boro (0.01 mg/kg); bajo contenido de azufre (5.7 mg/kg) y Conductividad de Intercambio Catiónico moderada (18.47 cmol+/kg). |
| Bt<br>30-47<br>cm | Color café muy oscuro (7.5 YR 2.5/2) en húmedo; textura franca arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y adherente y muy plástico en mojado. Presencia común de poros finos tipo vesicular y canales; y pocas raíces medias y muy pocas, muy finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| C<br>47+          | Color café oscuro (7.5YR3/3) en húmedo; textura franca arenosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia firme en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos de tipo vesicular y canales; y muy pocas raíces medias.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### **Perfil no. 10**

Localizado en las coordenadas UTM 600481 y 1295976 a 123 msnm, dentro de la finca Valle Menier, en el lote A0101T07. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



Figura 7. Perfil no. 10, finca Valle Menier, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 5. Descripción del perfil no. 10, finca Valle Menier, Nandaime, 2022.

| Hz                      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-10<br>cm        | Color negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros medios de tipo vesicular y canales y abundantes raíces medias. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.19 g/ml; pH neutro (6.8); contenido moderado de materia orgánica (3.81%); alto contenido de nitrógeno (0.19%); bajo contenido de fósforo (0.04 mg/kg); alto contenido de potasio (0.79 cmol+/kg); alto contenido de calcio (14.89 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (7.53 cmol+/kg); alto contenido de hierro (69.71 mg/kg); alto contenido de cobre (19.95 mg/kg); contenido moderado de zinc (1.21 mg/kg); alto contenido de manganeso (18.85 mg/kg); bajo contenido de boro (0.05mg/kg); bajo contenido de azufre (6.74 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (23.37 cmol+/kg). |
| B1<br>10-<br>21.5<br>cm | Color negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia común de poros muy finos de tipo vesicular; y presencia común de raíces gruesas. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| B2<br>+21.5<br>cm       | Color gris muy oscuro (5YR3/1) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia fuerte. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos y medio de tipo vesicular y canales; y muy pocas raíces medias.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### **Perfil no. 172**

Localizado en las coordenadas UTM 608124 y 1301929 a 126 msnm, dentro de la finca Fátima, en el lote A0301T07. Posicionado en un relieve de planicie con pendiente planas (<2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



(a) (b) (c)

Figura 8. Perfil no. 10, no. 172, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 7. Descripción del perfil no. 172, finca Fátima, Nandaime, 2022

| H <sub>z</sub>     | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-20<br>cm   | Color café oscuro (7.5YR3/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia firme en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos de tipo vesicular, y abundantes raíces medias y pocas, gruesas. El límite del horizonte es gradual y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.33 g/ml; pH ligeramente ácido (6.1); contenido moderado de materia orgánica (2.82%); contenido moderado de nitrógeno (0.14%); bajo contenido de fósforo (1.06 mg/kg); alto contenido de potasio (0.691 cmol+/kg); alto contenido de calcio (10.62cmol+/kg); alto contenido de magnesio (5.32 cmol+/kg); contenido moderado de hierro (152.46 mg/kg); alto contenido de cobre (18.35 mg/kg); bajo contenido de zinc (0.63 mg/kg); alto contenido de manganeso (17.28 mg/kg); bajo contenido de boro (0.04 mg/kg); bajo contenido de azufre (6.90 mg/kg) y moderada Conductividad de Intercambio Catiónico (16.0 cmol+/kg). |
| Bt1<br>20-30<br>cm | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/3) en húmedo; textura franca arcillo arenosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos vesiculares, y presencia común de raíces medias y pocas, finas. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bt2<br>+30<br>cm   | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/3) en húmedo; textura franca arcillo arenosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos vesiculares, y presencia común de raíces medias y pocas, finas. Presencia de pedregosidad del 30-40%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

### **Perfil no. 174**

Localizado en las coordenadas UTM 609534 y 1301630 a 132 msnm, dentro de la finca Fátima, en el lote A0302T07. Posicionado en un relieve de planicie con pendiente planas (< 2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



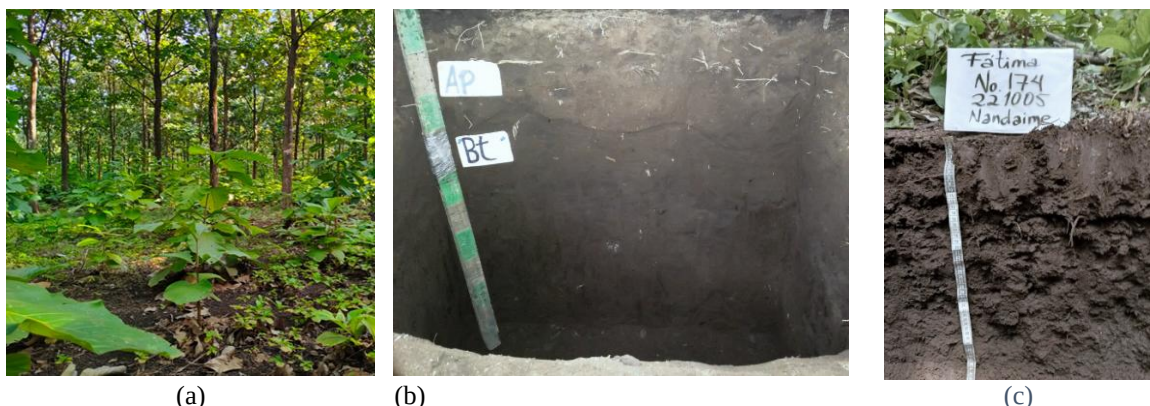


Figura 9. Perfil no. 174, finca Fátima, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 8. Descripción del perfil no. 174, finca Fátima, Nandaime, 2022.

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-13<br>cm | Color café rojizo oscuro (5YR2.5/2) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros medios de tipo canal, y presencia común raíces medias y finas. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.24 g/ml; pH ligeramente ácido (6.3); contenido moderado de materia orgánica (2.88%); contenido moderado de nitrógeno (0.14%); contenido moderado de fósforo (19.48 mg/kg); alto contenido de potasio (0.98 cmol+/kg); alto contenido de calcio (11.63 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (3.11 cmol+/kg); contenido moderado de hierro (181.59 mg/kg); alto contenido de cobre (23.77 mg/kg); contenido moderado de zinc (2.19 mg/kg); alto contenido de manganeso (37.62 mg/kg); bajo contenido de boro (0.03 mg/kg); bajo contenido de azufre (5.68 mg/kg) y moderada Conductividad de Intercambio Catiónico (16.0 cmol+/kg). |
| Bt<br>+13<br>cm  | Color negro rojizo (5YR2.5/1) en húmedo; textura franco-arcillosa estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros muy finos vesiculares, y muy pocas raíces finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### Vertic Haplustalfs

Suelos con características típicas de un alfisol, con un régimen de humedad ústico, que presenta características vérticas, (grietas dentro de los 125 cm de la superficie del suelo mineral), sin embargo, no cumple las características necesarias para ser clasificado como vertisol.

### **Perfil no. 14**

Localizado en las coordenadas UTM 600946 y 1298720 a 144 msnm, dentro de la finca Las Mercedes, en el lote A0202T07. Posicionado en un relieve de planicie con pendiente planas (< 2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.



Figura 10. Perfil no. 14, finca Las Mercedes, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 8. Descripción del perfil no. 14, finca Las Mercedes, Nandaime, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-35<br>cm  | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y muy plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular muy finos y muy pocas raíces finas y muy finas raíces gruesas. El límite del horizonte es gradual y suave. Presenta una densidad aparente de 1.25 g/ml; pH ligeramente ácido (6.3); contenido moderado de materia orgánica (2.96%); alto contenido de nitrógeno (0.15%); bajo contenido de fosforo (1.11 mg/kg); contenido moderado de potasio (0.21 cmol+/kg); alto contenido de calcio (16.83 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (9.67 cmol+/kg); alto contenido de hierro (49.44 mg/kg); alto contenido de cobre (28.75 mg/kg); bajo contenido de zinc (0.4 mg/kg); alto contenido de manganeso (12.08 mg/kg); bajo contenido de boro (0.04 mg/kg); bajo contenido de azufre (5.89 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (26.93 cmol+/kg). |
| Bt<br>35-50<br>cm | Color café oscuro (7.5YR3/4) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y muy plástico en mojado. Presencia de pocos poros tipo vesicular finos; y muy pocas raíces finas y pocas de tamaño medio y grueso. El límite del horizonte es difuso y ondulado Parámetros medidos en campo: pH ligeramente ácido (5); alto contenido de materia orgánica y sin presencia de carbonatos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| C<br>+60<br>cm    | Color café amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo; textura franca arenosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia firme en húmedo y adherente y muy plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos de tipo vesicular; y muy pocas raíces finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

### **Perfil no. 37**

Localizado en las coordenadas UTM 601059 y 1301488 a 184 msnm, dentro de la finca Los Alpes, en el lote A0705T10. Posicionado en un relieve con pendiente ligeramente inclinada (6 %). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.

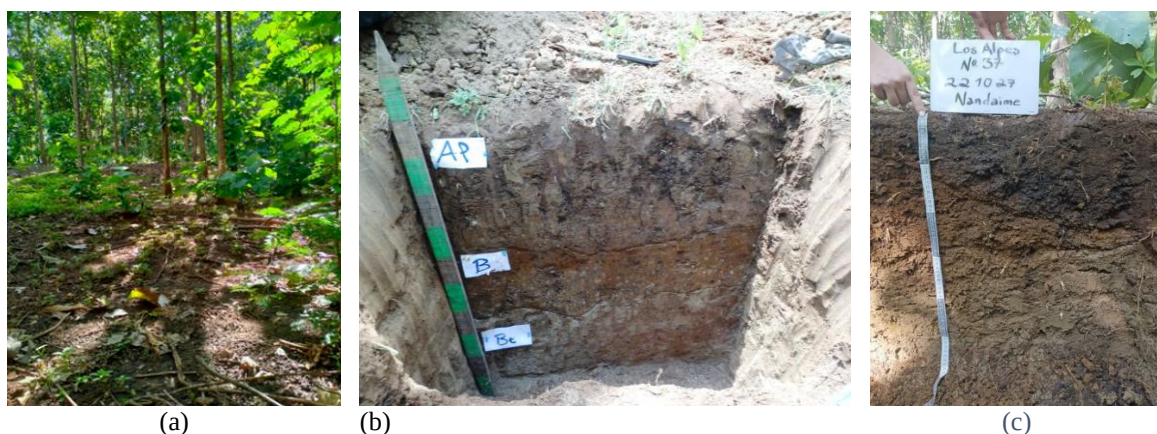


Figura 11. Perfil no. 37, finca Los Alpes, Nandaimé. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 9. Descripción del perfil no. 37, finca Los Alpes, Nandaimé, 2022.

| Hz                 | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-11<br>cm   | Color café rojizo oscuro (5YR2.5/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de muchos poros muy finos de tipo vesicular, y presencia común de raíces medias y abundantes, finas. El límite del horizonte es abrupto y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.23 g/ml; pH ligeramente ácido (6.1); contenido moderado de materia orgánica (2.64%); contenido moderado de nitrógeno (0.13%); bajo contenido de fósforo (0.99 mg/kg); alto contenido de potasio (0.67 cmol+/kg); alto contenido de calcio (15.07 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (3.84 cmol+/kg); contenido moderado de hierro (80.81 mg/kg); alto contenido de cobre (15.04mg/kg); contenido moderado de zinc (1.41 mg/kg); alto contenido de manganeso (15.42 mg/kg); bajo contenido de boro (0.09 mg/kg); bajo contenido de azufre (6.00 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (19.75 cmol+/kg). |
| Bt1<br>11-29<br>cm | Color café (7.5YR4/4) en húmedo; textura arcillosa; estructura subangular con resistencia moderada. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos vesiculares, pocas raíces medias y muy pocas, muy finas. El límite del horizonte es gradual y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bt<br>+29<br>cm    | Color café amarillento (10YR5/4) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos vesiculares, y muy pocas raíces finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



#### iv. Orden Vertisol

Suelos profundos formados de materiales sedimentarios compuestos por arcillas expandibles, siendo muy plástico y adherente cuando están húmedos, y muy duro cuando se secan, generando grietas o fisuras de tamaño y profundidad variable.

##### Typic Haplusterts

Suelos con características típicas de un vertisol, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

##### Perfil no. 35

Localizado en las coordenadas UTM 602192 y 1301066 a 174 msnm, dentro de la finca San Rubén, en el lote A0201T07. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2 %). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad al momento del muestreo.



Figura 12. Perfil no. 35, finca San Rubén, Nandaime. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 9. Descripción del perfil no. 35, finca San Rubén, Nandaime, 2022.

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1<br>0-16<br>cm | Color café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y muy adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos de tipo vesicular, y muy pocas raíces medias y gruesas. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.3 g/ml; pH ligeramente ácido (6.1); contenido moderado de materia orgánica (2.38%); contenido moderado de nitrógeno (0.12%); bajo contenido de fósforo (1.02 mg/kg); contenido moderado de potasio (0.10 cmol+/kg); alto contenido de calcio (23.28 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (15.54 cmol+/kg); alto contenido de hierro (49.67 mg/kg); alto contenido de cobre (22.29 mg/kg); bajo contenido de zinc (0.57 mg/kg); alto contenido de manganeso (11.25 mg/kg); bajo contenido de boro (0.05 mg/kg); bajo contenido de azufre (6.92 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (39.15 cmol+/kg). |



| H <sub>z</sub>  | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2<br>+16<br>cm | Color café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y muy adherente y plástico en mojado. Presencia pocos poros muy finos de tipo vesicular; y pocas raíces medias y finas. |

### 5.1.2. Núcleo El Sauce, León

Se presenta a continuación la figura 13 que destaca las fincas y calicatas seleccionadas en el municipio El Sauce, León; estas fueron seleccionadas por su importancia y singularidad dentro del ámbito de estudio. Este mapa detalla meticulosamente la distribución de las fincas y calicatas extendidas por el terreno, proporcionando una visión nítida y exacta de las ubicaciones de las calicatas que son el centro de nuestra investigación.

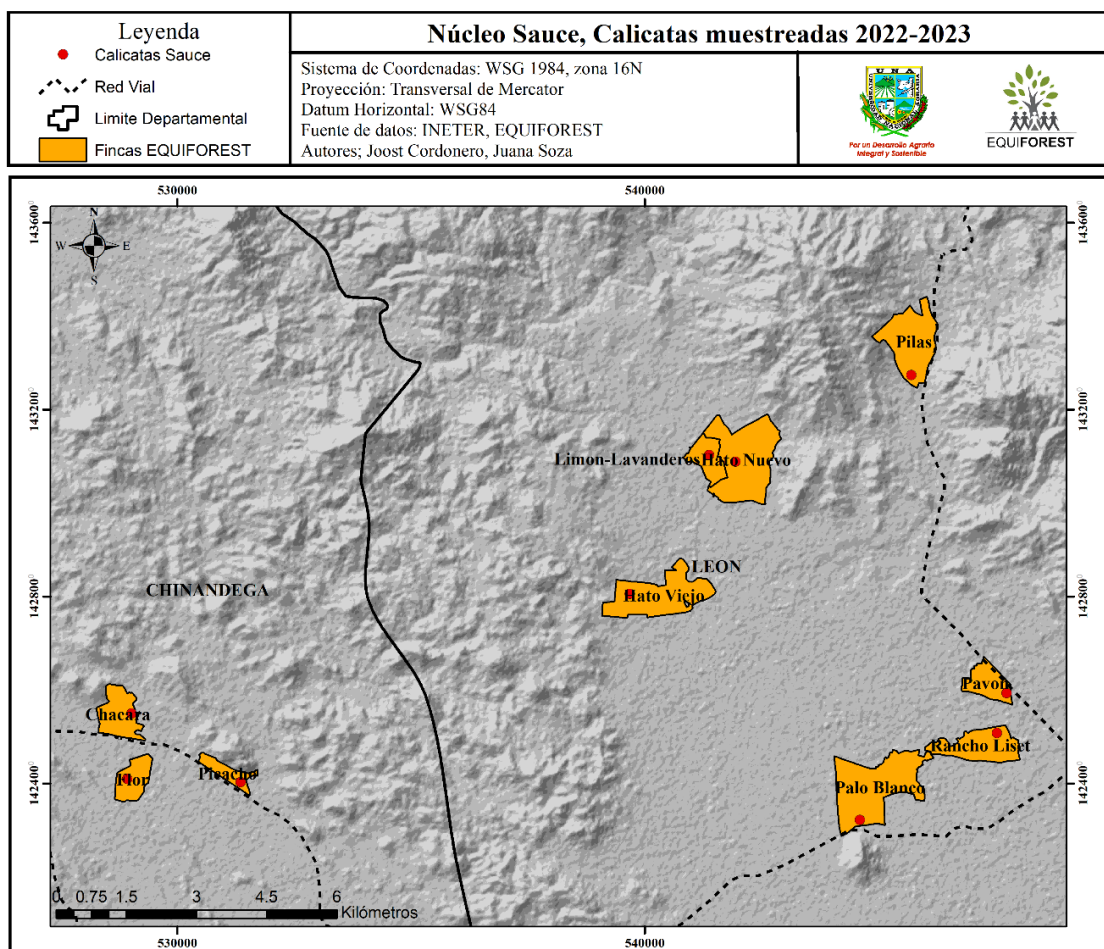


Figura 13. ubicación geográfica de las calicatas del núcleo del Sauce-León

**i. Orden Inceptisol**

Suelos jóvenes que están empezando a presentar desarrollo de horizontes. Presenta uno o más horizontes diagnósticos con génesis de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema. Presentan un horizonte cámbico que está dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral y tiene un límite inferior a una profundidad de 25 cm o más debajo de la superficie del suelo mineral. No presentan materiales sulfídicos dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral.

Morfológicamente presentan perfiles de formación incipiente, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbico de matices rojizos a pardo amarillento rojizo, excepcionalmente pardo amarillentos, y con evidencias de alteración y no de acumulación de material diluviado.

**Typic humustepts**

Suelo entisol desarrollado en un régimen de humedad ústico, con presencia de un Epipedón úmbrico o Mólico.

**Perfil no. 63**

Localizado en las coordenadas UTM 545693 y 1432736 a 210 msnm, dentro de la finca Las Pilas, en el lote C0301T08. Posicionado en un relieve plana (2%), con abundante pedregosidad superficial (80%) y pedregosidad moderada dentro del perfil (40%). Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.

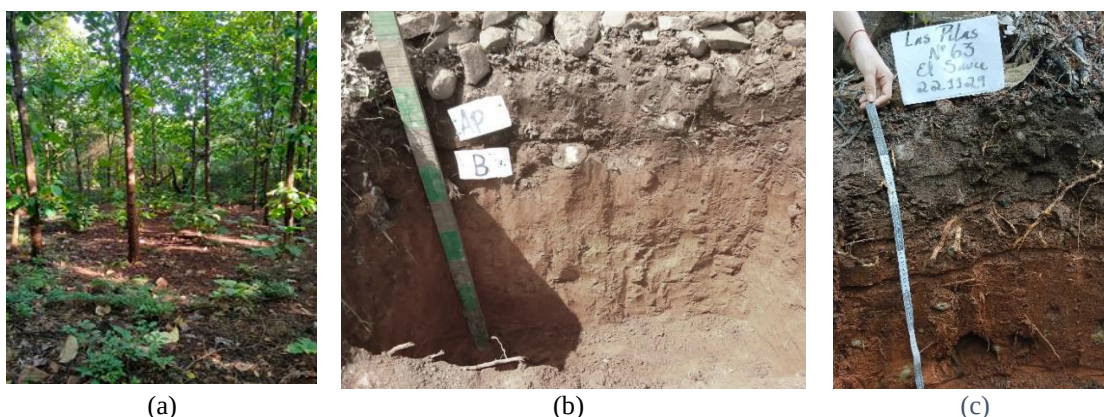


Figura 14. Perfil no. 63, finca Las Pilas, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 10. Descripción del perfil no. 63, finca Las Pilas, El Sauce, 2022.

| Hz | Descripción |
|----|-------------|
|----|-------------|

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-27<br>cm   | Color café oscuro (7.5 YR2.5/3) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura subangular con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales y vesicular de tamaño finos y abundantes raíces de tamaño media y pocas de tamaño gruesa. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de 1.24 g/ml; pH ligeramente ácido (6.8); alto contenido de materia orgánica (5.21%); alto contenido de nitrógeno (0.26%); bajo contenido de fósforo (0.51mg/kg); alto contenido de potasio (0.596 cmol+/kg); alto contenido de calcio (7.788 cmol+/kg); medio contenido de magnesio (0.579 cmol+/kg); contenido alto de hierro (64.01 mg/kg); alto contenido de cobre (19.26 mg/kg); contenido alto de zinc (4.7mg/kg); alto contenido de manganeso (41.85mg/kg); bajo contenido de boro (0.03 mg/kg); bajo contenido de azufre (4.6 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (99.46 cmol+/kg). |
| BA<br>27-37<br>cm | Color café rojizo oscuro (2.5YR2.5/4) en húmedo; textura franco limoso; estructura subangular con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, de tamaño muy finos vesiculares, y presencia de pocas de raíces gruesas y pocas de tamaño medias. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| B<br>37 +         | Color rojo oscuro (2.5YR3/6) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño finos de tipo canales, y presencia de pocas raíces de tamaño finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### **Perfil no. 74**

Localizado en las coordenadas UTM 541951 y 430892 a 145 msnm, dentro de la finca Hato Nuevo en el lote C0605T10. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Con drenaje superficial e interno imperfecto y una humedad moderada al momento del muestreo.

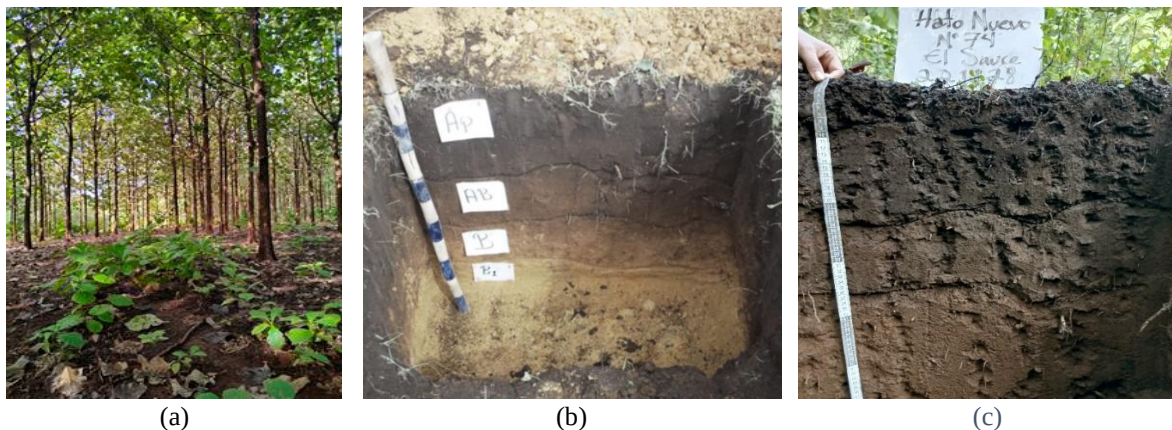


Figura 15. Perfil no. 74, finca Hato Nuevo, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.



Cuadro 11 Descripción del perfil no. 74, Hato Nuevo, El Sauce, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-24<br>cm   | Color negro (7.5 YR2.5/1) en húmedo; textura franco-arenosa; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos y medios de tipo canales, y pocas raíces medias y muy pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.14 g/ml; pH ligeramente ácido (6.1); alto contenido de materia orgánica (6.38%); alto contenido de nitrógeno (0.32%); bajo contenido de fósforo (0.28mg/kg); alto contenido de potasio (0.385 cmol+/kg); medio contenido de calcio (4.706 cmol+/kg); medio contenido de magnesio (0.476 cmol+/kg); contenido alto de hierro (89.75 mg/kg); medio contenido de cobre (7.58 mg/kg); contenido bajo de zinc (0.77mg/kg); medio contenido de manganeso (3.79mg/kg); bajo contenido de boro (0.02 mg/kg); bajo contenido de azufre (10.22 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (94.64 cmol+/kg). |
| AB<br>24-36<br>cm | Color café rojizo oscuro (5YR2.5/2) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros muy finos vesiculares y canales finos, y presencia de pocas de raíces muy finas. El límite del horizonte es difuso y suave                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| B<br>+36<br>cm    | Color café oscuro (7.5YR3/3) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño finos de tipo canales, y presencia de pocas raíces de tamaño finas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

### Typic haplustepts

Suelo que presenta las características típicas de un Inceptisol, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

#### Perfil no. 77

Localizado en las coordenadas UTM 528920 y 1424102 a 58 msnm, dentro de la finca La Flor en el lote C0704T10. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<1%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Con drenaje superficial e interno imperfecto y sin presencia de humedad al momento del muestreo.

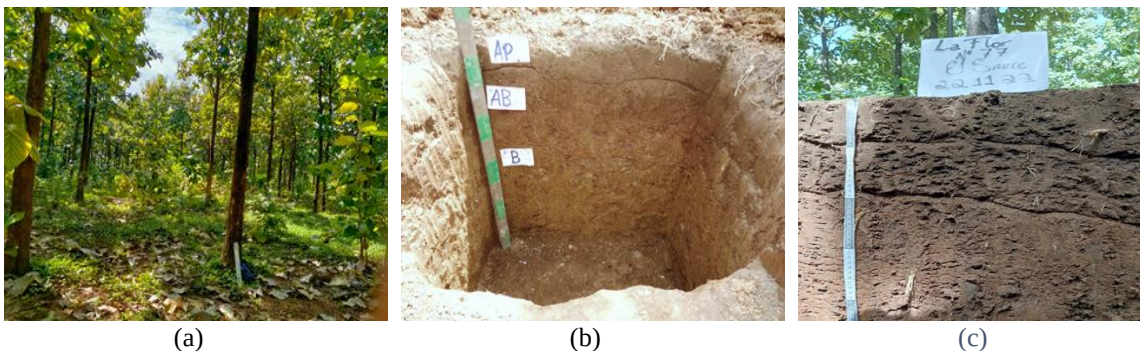


Figura 16. Perfil no. 77, La Flor, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 12. Descripción del perfil no. 77, La Flor, El Sauce, 2022

| Hz | Descripción |
|----|-------------|
|----|-------------|

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-8 cm   | Color café oscuro (7.5YR3/3) en seco y café rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo, textura franco-arcillosa; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia suave en seco y friable en húmedo y no adherente y no plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, pocas raíces de tamaño finas y pocas de tamaño muy finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.56 g/ml; pH ligeramente ácido (5.9); bajo contenido de materia orgánica (1.06 %); bajo contenido de nitrógeno (0.05 %); bajo contenido de fósforo (1.16 mg/kg); alto contenido de potasio (0.353 cmol+/kg); medio contenido de calcio (3.555 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (0.179 cmol+/kg); contenido alto de hierro (65.89 mg/kg); medio contenido de cobre (3.83 mg/kg); contenido bajo de zinc (0.54 mg/kg); medio contenido de manganeso (7.94 mg/kg); bajo contenido de boro (0.05 mg/kg); bajo contenido de azufre (6.16 mg/kg) y baja Conductividad de Intercambio Catiónico (4.21 cmol+/kg). |
| AB<br>8-18 cm | Color café rojizo oscuro (2.5YR3/3) en seco y café rojizo (2.5YR2.5/4) en húmedo; textura arenosa; estructura subangular con fuerte resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos vesicular, presencia de pocas raíces finas y pocas medias. El límite del horizonte es gradual y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| B<br>+18 cm   | Color café rojizo oscuro (2.5YR3/4) en seco y café rojizo (5YR3/4) en húmedo; textura franco arenoso arcilloso; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular de tamaño muy finos y presencia de pocas raíces finas. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### **Perfil no. 78**

Localizado en las coordenadas UTM 531345 y 1424028 a 73 msnm, dentro de la finca El Picacho en el lote C0710T10. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Con drenaje superficial e interno imperfecto y sin presencia de humedad al momento del muestreo.



Figura 17. Perfil no. 78, El Picacho Viejo, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 13. Descripción del perfil no. 78, El Picacho, El Sauce, 2022.

| Hz | Descripción |
|----|-------------|
|----|-------------|

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-26<br>cm   | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/2) en seco y café oscuro (7.5YR3/3) en húmedo, textura franca; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales y vesicular pocos finos, pocas raíces de tamaño finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de 1.29 g/ml; pH ligeramente ácido (6.9); alto contenido de materia orgánica (3.57 %); alto contenido de nitrógeno (0.18 %); bajo contenido de fósforo (2.37 mg/kg); alto contenido de potasio (0.982 cmol+/kg); alto contenido de calcio (9.69 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (1.423 cmol+/kg); contenido alto de hierro (70.46 mg/kg); alto contenido de cobre (12.28 mg/kg); contenido medio de zinc (2.79 mg/kg); medio contenido de manganeso (8.2 mg/kg); bajo contenido de boro (0.16 mg/kg); bajo contenido de azufre (4.73 mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (12.29 cmol+/kg). |
| AB<br>26-55<br>cm | Color rojo muy oscuro (2.5YR2.5/2) en seco y café rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con fuerte resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros finos canales y vesicular pocos de tamaño medio, presencia de abundantes raíces finas y pocas medias. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B<br>55 +         | Color café rojizo oscuro (2.5YR3/3) en seco y café rojizo (5YR3/4) en húmedo; textura franco limoso; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tipo vesicular de tamaño finos y canales pocos de tamaños medio, presencia de pocas raíces media y finas pocas. El límite del horizonte es gradual y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

### **Perfil no. 79**

Localizado en las coordenadas UTM 529017 y 1425513 a 59 msnm, dentro de la finca La Chácara, en el lote C0713T10. Posicionado en un relieve plano (<2%), con suelos sin pedregosidad en la superficie y dentro del perfil. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo no presenta humedad al momento del muestreo.

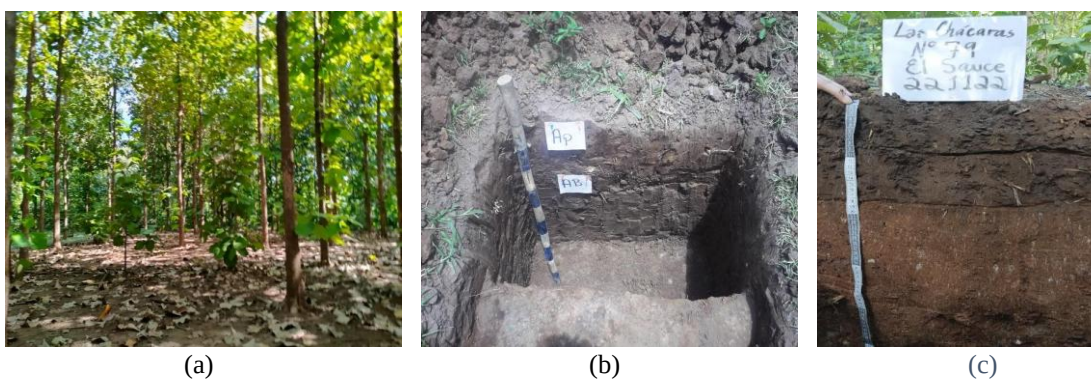


Figura 18. Perfil no. 79, finca La Chácara, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 14. Descripción del perfil no. 79, finca La Chácara, El Sauce, 2022.

| Hz | Descripción |
|----|-------------|
|----|-------------|



|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1<br>0-9<br>cm  | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/2) en seco y negro (5YR2.5/1) en húmedo, textura franca-arcillosa; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, y abundantes raíces de tamaño gruesa y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de 1.29 g/ml; pH ligeramente ácido (6.6); medio contenido de materia orgánica (3.05%); alto contenido de nitrógeno (0.15%); bajo contenido de fósforo (2.54mg/kg); alto contenido de potasio (0.77 cmol+/kg); alto contenido de calcio (10.374 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (1.164 cmol+/kg); contenido alto de hierro (246.49 mg/kg); alto contenido de cobre (15.54 mg/kg); contenido medio de zinc (1.99mg/kg); medio contenido de manganeso (7.89mg/kg); bajo contenido de boro (0.11 mg/kg); bajo contenido de azufre (4.32 mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (12.72 cmol+/kg). |
| A2<br>9-17<br>cm | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/3) en seco y café muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura subangular con fuerte resistencia. De consistencia duro en seco y firme en húmedo y no adherente y plástico en mojado. Presencia de muchos poros finos vesiculares y pocos canales de tamaño muy finos, y presencia de pocas raíces finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es claro y suave                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| R<br>17 +        | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

### **Perfil no. 165**

Localizado en las coordenadas UTM 547732 y 1425937 a 189 msnm, dentro de la finca El Pavón, en el lote C0204T08. Posicionado en un relieve plano (<3%), con suelos sin pedregosidad en la superficie y dentro del perfil. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo no presenta humedad al momento del muestreo.

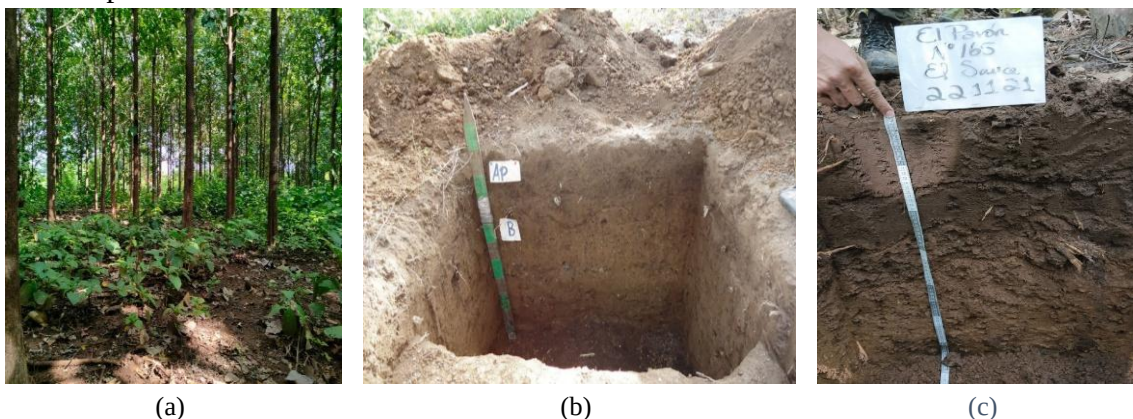


Figura 19. Perfil no. 165, finca El Pavón, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 15. Descripción del perfil no. 165, finca El Pavón, El Sauce, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-16<br>cm   | Color café rojizo oscuro (5YR2.5/2) en seco y café muy oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo, textura franco-arcillosa; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y firme en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales y vesicular pocos de tamaño finos, pocas raíces de tamaño finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es difuso e irregular. Presenta una densidad aparente de 1.34 g/ml; pH ligeramente ácido (6.8); medio contenido de materia orgánica (3.13%); alto contenido de nitrógeno (0.16%); bajo contenido de fósforo (0.56 mg/kg); alto contenido de potasio (0.564 cmol+/kg); alto contenido de calcio (7.666 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (0.276 cmol+/kg); contenido alto de hierro (82.6 mg/kg); medio contenido de cobre (7.89 mg/kg); contenido bajo de zinc (0.06 mg/kg); medio contenido de manganeso (5.49 mg/kg); bajo contenido de boro (0.08 mg/kg); bajo contenido de azufre (4.18 mg/kg) y bajo Conductividad de Intercambio Catiónico (8.75 cmol+/kg). |
| AB<br>16-27<br>cm | Color café oscuro (5YR3/2) en seco y café muy oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y friable en húmedo y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes finos canales, y presencia de pocas de raíces finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es gradual y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| C<br>27-37<br>cm  | Color café oscuro en seco (7.5YR3/4) y café claro (7.5YR3/3) en húmedo; textura arena limoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y friable en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tipo canales de tamaño finos y presencia de pocas raíces gruesas y pocas medias. El límite del horizonte es abrupto y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| R<br>37 +         | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## ii. Orden Alfisol

Suelo que presenta un epipedón plaggen y ya sea, un horizonte argílico. Tienen una saturación de base mayor de 35%, y los horizontes subsuperficiales muestran evidencias claras de traslocación de películas de arcilla.

### Inceptic Haplustalfs

Suelo que presenta las características de un alfisol, con horizonte argílico con un grosor de menos de 35 cm, desarrollado en un régimen de humedad ústico.



### Perfil no. 57

Localizado en las coordenadas UTM 547533 y 1425083 a 180 msnm, dentro de la finca Rancho Liseth, en el lote C0201T08. Posicionado en un relieve ligeramente inclinado (8%), con suelos sin pedregosidad en la superficie y dentro del perfil. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo no presento humedad al momento del muestreo.



Figura 20. Perfil no. 57, finca Rancho Liseth, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 16. Descripción del perfil no. 57, finca Rancho Liseth, El Sauce, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-11<br>cm  | Color café oscuro (7.5YR3/3) en seco y café claro (7.5YR3/2) en húmedo, textura franca; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y friable en húmedo y no adherente y no plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, abundantes raíces de tamaño finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.38 g/ml; pH ligeramente ácido (5.9); medio contenido de materia orgánica (2.08 %); alto contenido de nitrógeno (0.1 %); bajo contenido de fósforo (2.24 mg/kg); medio contenido de potasio (0.288 cmol+/kg); alto contenido de calcio (5.272 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (0.839 cmol+/kg); contenido alto de hierro (243.44 mg/kg); medio contenido de cobre (9.1 mg/kg); contenido medio de zinc (1.15 mg/kg); alto contenido de manganeso (18.64 mg/kg); bajo contenido de boro (0.09 mg/kg); bajo contenido de azufre (3.41 mg/kg) y baja Conductividad de Intercambio Catiónico (6.7 cmol+/kg). |
| Bt<br>11-26<br>cm | Color café amarillento oscuro (10YR4/4) en seco y café (10YR4/3) en húmedo; textura arcillo limoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y muy friable en húmedo y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes finos canales y vesicular pocos de tamaño fino, presencia de pocas de raíces finas y pocas medias. El límite del horizonte es abrupto e irregular.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| C<br>26 +         | Color café grisáceo muy oscuro (10YR4/2) en seco rojo oscuro (2.5YR4/2) en húmedo; textura areno limoso; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia duro en seco y firme en húmedo y ligeramente adherente y no plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tipo canales de tamaño finos y presencia de pocas raíces medias. El límite del horizonte es gradual y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### **Perfil no. 171**

Localizado en las coordenadas UTM 541378 y 1431027 a 140 msnm, dentro de la finca Limón-Lavaderos, en el lote C0602T08. Posicionado en un relieve plana (2%), suelo sin pedregosidad superficial e interna. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó una humedad moderada al momento del muestreo.

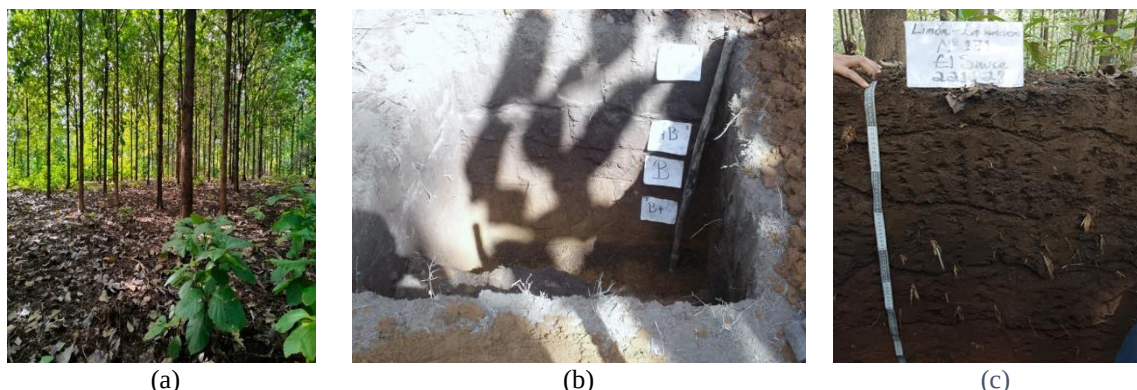


Figura 21. Perfil no. 171, finca Limón-Lavaderos, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 17. Descripción del perfil no. 171, finca Limón-Lavaderos, El Sauce, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-11<br>cm   | Color negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia friable en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, pocas raíces de tamaño finas y pocas de tamaño muy finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.43 g/ml; pH ligeramente ácido (6.8); medio contenido de materia orgánica (3.47 %); alto contenido de nitrógeno (0.17 %); bajo contenido de fósforo (0.18 mg/kg); alto contenido de potasio (0.532 cmol+/kg); medio contenido de calcio (4.195 cmol+/kg); medio contenido de magnesio (0.513 cmol+/kg); contenido alto de hierro (52.35 mg/kg); medio contenido de cobre (5.18 mg/kg); contenido bajo de zinc (1.32 mg/kg); alto contenido de manganeso (12.41 mg/kg); bajo contenido de boro (0.03 mg/kg); bajo contenido de azufre (8.19 mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (99.07 cmol+/kg). |
| AB<br>11-26<br>cm | Color grisáceo (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con débil resistencia. De consistencia friable en húmedo y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes finos canales y vesicular pocos de tamaño fino, presencia de pocas de raíces finas y pocas medias. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Bt<br>26-46<br>cm | Color café muy oscuro (7.5YR2.5/3) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular de tamaño muy finos y canales pocos de tamaños finos, presencia de pocas raíces media y gruesas pocas. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| C<br>46-67<br>cm  | Color café rojizo oscuro (5YR3/3) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular de tamaño muy finos y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

| Hz        | Descripción                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | canales pocos de tamaños finos, presencia de pocas raíces media y finas pocas. El límite del horizonte es abrupto y ondulado. |
| R<br>67 + | Material parental                                                                                                             |

### Typic Haplustalfs

Suelo que presenta las características típicas de un alfisol, con horizonte argílico, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

#### Perfil no. 71

Localizado en las coordenadas UTM 539678 y 1428063 a 162 msnm, dentro de la finca Hato Viejo en el lote C0503T08. Posicionado en un relieve con pendiente plana (<2%). Sin presencia de pedregosidad superficial e interna. Con drenaje superficial e interno imperfecto y una humedad moderada al momento del muestreo.

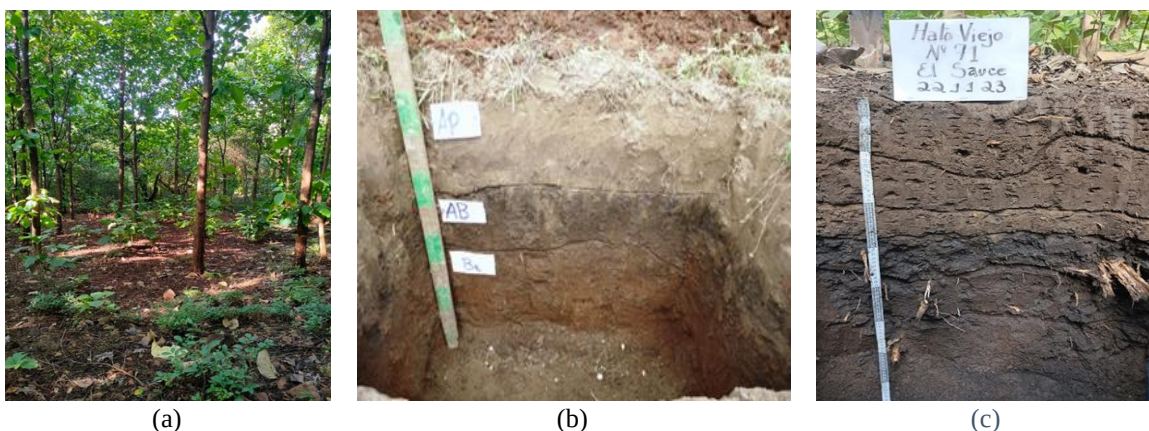


Figura 22. Perfil no. 71, finca Hato Viejo, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 18. Descripción del perfil no. 71, Hato Viejo, El Sauce, 2022.

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1<br>0-10<br>cm | Color café oscuro (7.5YR3/2) en húmedo, textura franco-Arcilloso; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, pocas raíces de tamaño finas y pocas de tamaño muy finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado. Presenta una densidad aparente de 1.38 g/ml; pH ligeramente ácido (6.6); medio contenido de materia orgánica (3.28 %); alto contenido de nitrógeno (0.16 %); bajo contenido de fósforo (1.03 mg/kg); alto contenido de potasio (0.615 cmol+/kg); alto contenido de calcio (7.227 cmol+/kg); bajo contenido de magnesio (0.232 cmol+/kg); contenido alto de hierro (199.02 mg/kg); alto contenido de cobre (5.59 mg/kg); contenido bajo de zinc (1.27 mg/kg); medio contenido de manganeso (8.52 mg/kg); bajo contenido de boro (0.14 mg/kg); bajo contenido de azufre (5.27 mg/kg) y bajo Conductividad de Intercambio Cationico (8.23 cmol+/kg). |

| Hz                 | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2<br>10-20<br>cm  | Color negro (7.5YR2.5/1) en húmedo; textura franco arenoso; estructura subangular con moderada resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes finos canales y vesicular pocos de tamaño fino, presencia de pocas raíces finas y pocas muy finas. El límite del horizonte es claro y suave.                                     |
| AB<br>20-28<br>cm  | Color café grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tipo vesicular de tamaño finos y canales pocos de tamaños finos, presencia de pocas raíces media y finas pocas. El límite del horizonte es abrupto y suave. |
| Bt1<br>28-37<br>cm | Color negro (10YR2/1) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular de tamaño muy finos y canales pocos de tamaños finos, presencia de pocas raíces media y finas pocas. El límite del horizonte es claro y suave.                          |
| Bt2<br>37-52<br>cm | Color negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo vesicular de tamaño muy finos y canales pocos de tamaños finos, presencia de pocas raíces media y gruesas pocas. El límite del horizonte es difuso y suave.                      |
| C<br>52 +          | Color café rojizo oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura subangular con moderado resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tipo canales de tamaño muy finos, presencia de pocas raíces media y finas pocas. El límite del horizonte es difuso y suave.                                            |

### iii. *Orden Vertisol*

Suelos profundos formados de materiales sedimentarios compuestos por arcillas expandibles, siendo muy plástico y adherente cuando están húmedos, y muy duro cuando se secan, generando grietas o fisuras de tamaño y profundidad variable.

#### **Typic Haplusterts**

Suelos con características típicas de un vertisol, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

#### **Perfil no. 55**

Localizado en las coordenadas UTM 544600 y 1423221 a 63 msnm, dentro de la finca Palo Blanco, en el lote C0201T08. Posicionado en un relieve plano (<1%), con suelos sin pedregosidad en la superficie y dentro del perfil. Drenaje superficial e interno imperfecto. El suelo presentó un exceso de humedad al momento del muestreo.



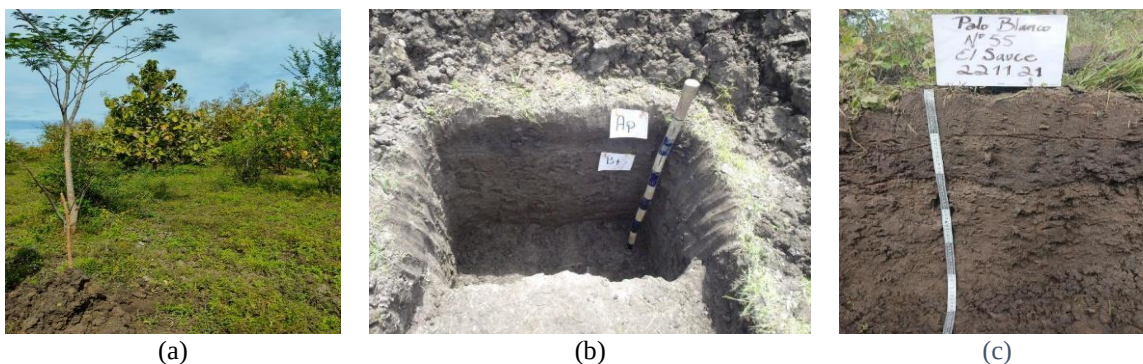


Figura 23. Perfil no. 55, finca Palo Blanco, El Sauce. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2022; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2022.

Cuadro 19. Descripción del perfil no. 55, finca Palo Blanco, El Sauce, 2022.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-12<br>cm  | Color negro (7.5YR2.5/1) en húmedo con moteados de color marrón fuerte (7.5YR4/6), textura franco-arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes, finos de tipo canales, abundantes raíces de tamaño finas y pocas de tamaño media. El límite del horizonte es difuso e irregular. Presenta una densidad aparente de 1.3 g/ml; pH ligeramente ácido (5.8); medio contenido de materia orgánica (3.24%); alto contenido de nitrógeno (0.16%); bajo contenido de fósforo (5.3 mg/kg); alto contenido de potasio (0.347 cmol+/kg); alto contenido de calcio (9.573 cmol+/kg); alto contenido de magnesio (3.332 cmol+/kg); contenido alto de hierro (312.64 mg/kg); alto contenido de cobre (11.73 mg/kg); contenido medio de zinc (2.11 mg/kg); alto contenido de manganeso (32.63 mg/kg); bajo contenido de boro (0.06 mg/kg); bajo contenido de azufre (13.02 mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (13.53 cmol+/kg). |
| Bt<br>12-20<br>cm | Color negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes finos canales, y presencia de pocas de raíces finas. El límite del horizonte es abrupto y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| C<br>20 +         | Color gris muy oscuro (10YR3/1) en húmedo; textura areno limoso; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia friable en húmedo y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tipo canales de tamaño finos y vesiculares pocos de tamaño fino y presencia de pocas raíces medias. El límite del horizonte es claro y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### 5.1.3. Núcleo Chinandega, Chinandega

La Figura 24 ilustra con minuciosidad la localización de las fincas y calicatas que constituyen el objeto de estudio, situadas en la vasta extensión del departamento de Chinandega. Este mapa ofrece una representación clara y detallada de las posiciones estratégicas de las calicatas, las cuales son fundamentales para nuestra investigación.

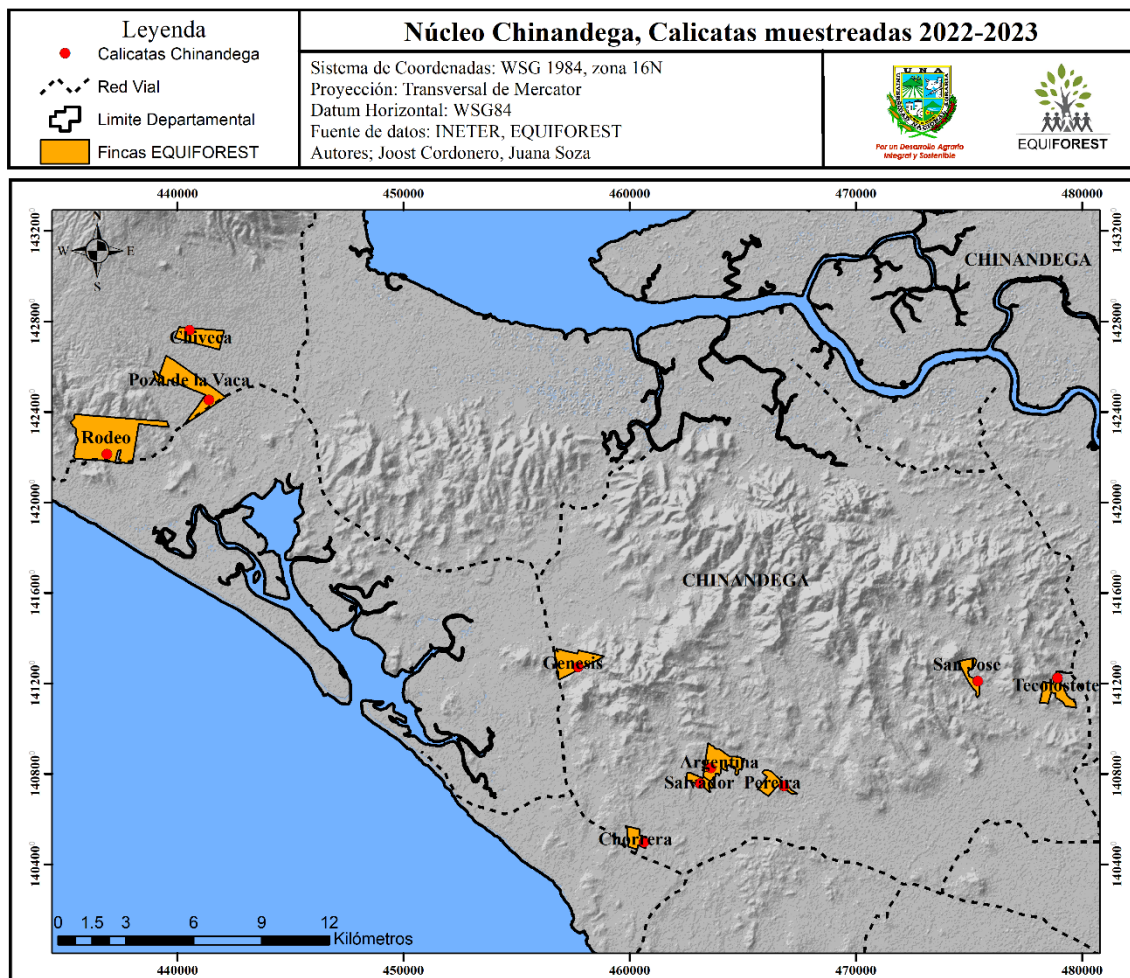


Figura 24. Ubicación geográfica de las calicatas del núcleo de Chinandega

### ***i. Orden Andisol***

Los Andisoles son suelos desarrollados sobre materiales piroclásticos depositados por erupciones volcánicas cuya principal característica es la variedad de material parental debido a la naturaleza de los materiales expulsados en las erupciones. El origen de estos suelos se debe al rápido enfriamiento de los materiales expulsados, que no permite la cristalización de los minerales con un alto grado de ordenación, resultando así un material vítreo o vidrio volcánico amorfo.

## Alfic Haplustands

Poseen un horizonte argílico o kándico que tiene su límite superior dentro de los 125 cm de la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo, cualquiera que esté menos profunda.

### Perfil no. 119

Localizado en las coordenadas UTM 460630 y 1404982 a 36 msnm, dentro de la finca La Chorrera, en el lote B1001T10. Posicionado en un relieve plano (4%), sin presencia de pedregosidad. Drenaje superficial e interno bueno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, capa superficial del perfil fracturada, presencia de cristales y en el horizonte más profundo presenta humedad, sin evidencia de grado de erosión.



Figura 25. Perfil no. 119, finca La Chorrera, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 20. Descripción del perfil no. 119, finca La Chorrera, Chinandega, 2023.

| H <sub>z</sub>     | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-10<br>cm    | Color negro (7.5YR2/2) en seco y café oscuro (5YR2.5/1) en húmedo; textura Arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo muy friable, no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros muy pocos de tamaños mediamos de tipo canales, muy pocos, de tamaño finos de tipo vesicular, muy pocas raíces de tamaño medio y comunes de tamaño fino. El límite del horizonte es gradual y suave. Presenta una densidad aparente de (1.3g/ml); pH ligeramente ácido (6.45); medio contenido de materia orgánica (3.15%); alto contenido de nitrógeno (0.16%); bajo contenido de fósforo (1.67mg/kg); alto contenido de potasio (0.188cmol+/kg); alto contenido de calcio (13.789cmol+/kg); alto contenido de magnesio (5.746cmol+/kg); contenido alto de hierro (67.66mg/kg); alto contenido de cobre (24.7mg/kg); contenido medio de zinc (2.21mg/kg); medio contenido de manganeso (11.26mg/kg); bajo contenido de boro (0.29mg/kg); bajo contenido de azufre (7.45mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (19.7cmol+/kg). |
| Bw1<br>10-27<br>cm | Color marrón muy oscuro (10YR2/1) en seco Y marrón claro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura masiva con moderada resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo muy friable y no adherente y muy plástico en mojado. Presencia de muy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | pocos poros de tamaño finos de tipo canales y pocos de tamaño finos de tipo vesicular, raíces pocas de tamaños grande y comunes de tamaño mediano. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                |
| Bw2<br>27-42 | Color marrón muy oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño muy finos de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño mediano y muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y ondulado. |
| C<br>42 +    | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### **Perfil no. 128**

Localizado en las coordenadas UTM 463599 y 1408255 a 43 msnm, dentro de la finca La Argentina, en el lote B0202T07. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial bueno e interno bueno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.



Figura 26. Perfil no. 128, finca La Argentina, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 21. Descripción del perfil no. 128, finca La Argentina, Chinandega, 2023.

| Hz              | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-13<br>Cm | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo firme, no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño mediano, pocas de tamaño finas y muy pocas de tamaño muy finas. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de (1.07g/ml); pH ligeramente ácido (6.71); alto contenido de materia orgánica (8.57%); alto contenido de nitrógeno (0.43%); bajo contenido de fósforo (2.57mg/kg); medio contenido de potasio (0.235cmol+/kg); alto contenido de calcio (17.193cmol+/kg); alto contenido de magnesio (4.036cmol+/kg); contenido alto de hierro (89.89mg/kg); alto contenido de cobre (18.66mg/kg); contenido alto de zinc (6.92mg/kg); medio contenido de manganeso (2.8mg/kg); bajo contenido de boro (0.22mg/kg); bajo contenido de azufre (3.89mg/kg) y alto Conductividad de Intercambio Catiónico (21.31cmol+/kg). |

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B<br>13-43<br>cm | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo friable y adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño finos de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño medio y muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                 |
| C<br>43 +        | Color marrón oscuro (7.5YR3/3) en seco marrón muy oscuro (7.5YR2.5/2) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño grande, muy pocas de tamaño mediana y muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y suave. |

### **Perfil no. 149**

Localizado en las coordenadas UTM 478922 y 1412235 a 25 msnm, dentro de la finca Pereira, en el lote B0208T09. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial bueno e interno moderado. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.

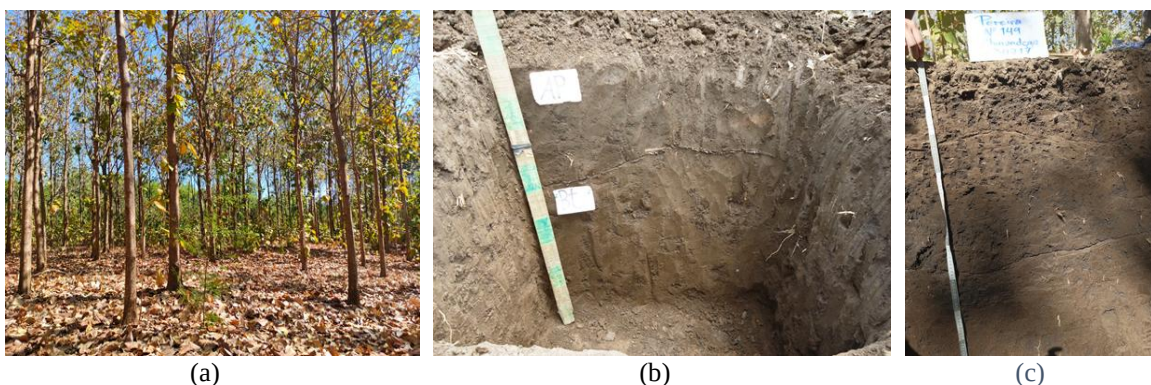


Figura 27. Perfil no. 149, finca Pereira, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 22. Descripción del perfil no. 149, finca Pereira, Chinandega, 2023.

| Hz              | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-22<br>Cm | Color negro (7.5YR2.5/1) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franca arcillo arenosa; estructura bloque subangular con fuerte resistencia. De consistencia ligeramente extremadamente duro en seco y en húmedo firme, no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño grande y pocas de tamaño mediano. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.27g/ml); pH ligeramente ácido (6.79); medio contenido de materia orgánica (3.41%); alto contenido de nitrógeno (0.17%); bajo contenido de fósforo (4.9mg/kg); alto contenido de potasio (0.427cmol+/kg); alto contenido de calcio (18.465cmol+/kg); alto contenido de magnesio (6.488cmol+/kg); contenido alto de hierro (65.7mg/kg); alto contenido de cobre (18.32mg/kg); contenido medio de zinc (3.23mg/kg); medio contenido de manganeso (4.05mg/kg); |

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | bajo contenido de boro (0.38mg/kg); bajo contenido de azufre (3.75mg/kg) y alto Conductividad de Intercambio Catiónico (25.52cmol+/kg).                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Bw<br>22-57<br>cm | Color negro (10YR2/1) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arcilloso arenoso; estructura bloque subangular con firme resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y no adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño fina y pocas de tamaño mediano. El límite del horizonte es claro y ondulado. |
| C<br>57 +<br>cm   | Color negro (10YR2/1) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca arcillosa; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño grande de tipo vesicular y comunes de tamaño mediano de tipo canales raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y suave.               |

### Lithic Haplustands

Tienen, en uno o más horizontes a una profundidad entre 50 y 100 cm, desde la superficie del suelo mineral o de la parte superior de una capa orgánica con propiedades ándicas de suelo, cualquiera que esté menos profunda, condiciones ácuicas por algún tiempo en años normales (o drenaje artificial).

#### Perfil no. 151

Localizado en las coordenadas UTM 436882 y 1422131 a 35 msnm, dentro de la finca El Rodeo, en el lote B0402T07. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial imperfecto e interno bueno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.

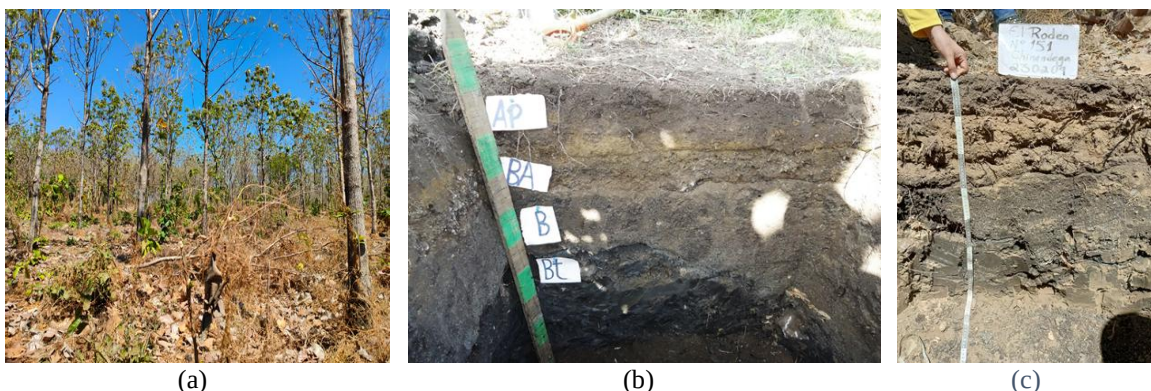


Figura 28. Perfil no. 151, finca El Rodeo, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 23. Descripción del perfil no. 151, finca El Rodeo, Chinandega, 2023.

| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-9<br>cm    | Color gris muy oscuro (7.5YR3/1) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco-arenosa; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y en húmedo muy friable, no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular, raíces pocas de tamaño mediana, y muy pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.34g/ml); pH ligeramente ácido (6.77); medio contenido de materia orgánica (2.1%); medio contenido de nitrógeno (0.11%); alto contenido de fósforo (30.74mg/kg); medio contenido de potasio (0.255cmol+/kg); alto contenido de calcio (10.231cmol+/kg); alto contenido de magnesio (3.7313cmol+/kg); contenido alto de hierro (83.51mg/kg); alto contenido de cobre (13.95mg/kg); contenido medio de zinc (3.2mg/kg); medio contenido de manganeso (8.71mg/kg); bajo contenido de boro (0.28mg/kg); bajo contenido de azufre (3.33mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (14.23cmol+/kg). |
| B1<br>9-22<br>cm  | Color gris parduzco claro (10YR6/2) en seco y marrón oscuro (10YR3/3) en húmedo y en moteado (10YR5/6) marrón amarillento; textura franco arenoso; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño grande y pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es gradual y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| B2<br>22-28       | Color gris oscuro (10YR4/1) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arenoso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño mediana y muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es abrupto y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| C1<br>28-48<br>cm | Color negro (10YR2/1) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo y en moteado (7.5R7/1) gris; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo extremadamente firme y no adherente y muy plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| C2<br>48 +        | Color blanco (Gley12.5/N) en seco y húmedo no varía el color; textura arcillosa; estructura masiva con fuerte resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo extremadamente firme y no adherente y muy plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño muy fina. El límite del horizonte es claro y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### **Perfil no. 155**

Localizado en las coordenadas UTM 457719 y 1412730 a 79 msnm, dentro de la finca Genesis, en el lote B1002T10. Posicionado en un relieve plano (3%), con presencia de pedregosidad del 5% dentro del perfil y superficial. Drenaje superficial excesivo e interno bueno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, con una leve evidencia de grado de erosión.



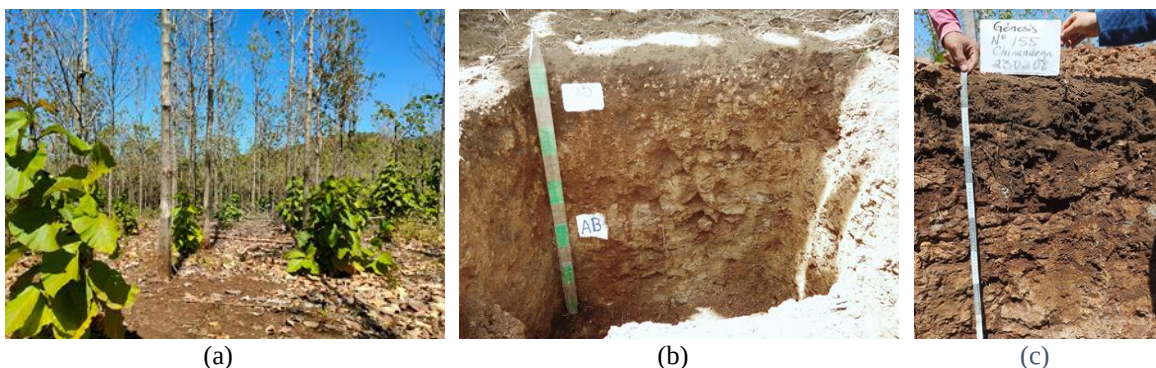


Figura 29. Perfil no. 155, finca Genesis, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 24. Descripción del perfil no. 155, finca Genesis, Chinandega, 2023.

| H <sub>z</sub>     | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AB<br>0-13<br>cm   | Color marrón oscuro (7.5YR3/2) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular, raíces comunes de tamaño muy finas y muy pocas de tamaño grande. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.26g/ml); pH ligeramente ácido (6.64); alto contenido de materia orgánica (3.66%); alto contenido de nitrógeno (0.18%); bajo contenido de fósforo (1.72mg/kg); medio contenido de potasio (0.258cmol+/kg); alto contenido de calcio (15.421cmol+/kg); alto contenido de magnesio (4.371cmol+/kg); contenido alto de hierro (71.37mg/kg); medio contenido de cobre (10.59mg/kg); contenido medio de zinc (1.63mg/kg); medio contenido de manganeso (2.8mg/kg); bajo contenido de boro (0.22mg/kg); bajo contenido de azufre (2.76mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (20.02cmol+/kg). |
| B/C<br>13-37<br>cm | Color marrón muy oscuro (7.5YR2.5/2) en seco y en húmedo se mantiene el mismo color, en moteado marrón fuerte (7.5YR5/6); textura franco arenoso; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable y no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de poros abundante de tamaño muy finos de tipo intersticiales, raíces comunes de tamaño mediano y muy pocas de tamaño muy finas. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| R<br>37 +          | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

### Humic Haplustands

Haplustands que tienen un epipedón melánico, Mólico o úmbrico.

#### **Perfil no. 129**

Localizado en las coordenadas UTM 463109 y 1407584 a 36 msnm, dentro de la finca El Salvador, en el lote B0103T07. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial bueno e interno bueno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.

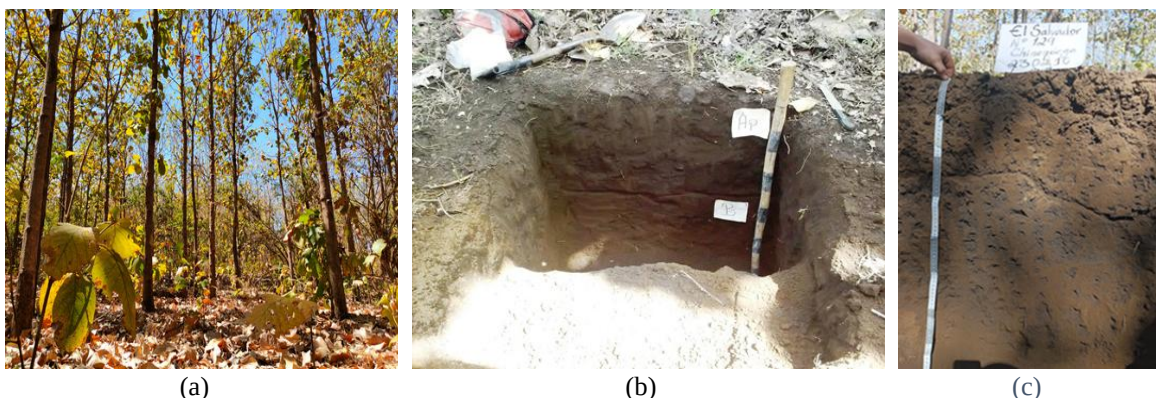


Figura 30. Perfil no. 129, finca El Salvador, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 25. Descripción del perfil no. 129, finca El Salvador, Chinandega, 2023.

| H <sub>z</sub>  | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-9<br>Cm  | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca; estructura bloque subangular con fuerte resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable, no adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño media y pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de (1.23g/ml); pH ligeramente ácido (6.76); alto contenido de materia orgánica (5.2%); alto contenido de nitrógeno (0.26%); bajo contenido de fósforo (9.3mg/kg); alto contenido de potasio (1.117cmol+/kg); alto contenido de calcio (13.479cmol+/kg); alto contenido de magnesio (2.814cmol+/kg); contenido alto de hierro (90.8mg/kg); alto contenido de cobre (17.52mg/kg); contenido alto de zinc (5.93mg/kg); medio contenido de manganeso (3.95mg/kg); bajo contenido de boro (0.29mg/kg); bajo contenido de azufre (6.13mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (17.42cmol+/kg). |
| B<br>9-25<br>cm | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franco arenoso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo firme y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño mediano de tipo vesicular, comunes de tamaño fino de tipo vesicular, comunes de tamaño mediano de tipo canales y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es difuso y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| C<br>25 +       | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca areno arcilloso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia extremadamente duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces pocas de tamaño mediana y muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

#### **Perfil no. 137**

Localizado en las coordenadas UTM 478925 y 1412240 a 46 msnm, dentro de la finca Tecolostote, en el lote B0801T09. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial bueno e interno moderado. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.





Figura 31. Perfil no. 137, finca Tecolostote, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 26. Descripción del perfil no. 137, finca Tecolostote, Chinandega, 2023

| Hz                 | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-14<br>Cm   | Color marrón grisáceo oscuro (10YR4/3) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y en húmedo muy firme, adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño mediano canales, raíces muy pocas de tamaño grande y comunes de tamaño mediana. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.17g/ml); pH ligeramente ácido (6.82); alto contenido de materia orgánica (4.92%); alto contenido de nitrógeno (0.25%); medio contenido de fósforo (11.26mg/kg); alto contenido de potasio (1.012cmol+/kg); alto contenido de calcio (15.113cmol+/kg); alto contenido de magnesio (4.042cmol+/kg); contenido alto de hierro (75.99mg/kg); alto contenido de cobre (20.99mg/kg); contenido medio de zinc (4.83mg/kg); medio contenido de manganeso (2.64mg/kg); bajo contenido de boro (0.26mg/kg); bajo contenido de azufre (1.88mg/kg) y medio Conductividad de Intercambio Catiónico (19.93cmol+/kg). |
| B1<br>14-36<br>cm  | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arcilloso arenoso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño grande y pocas de tamaño mediano. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| B2<br>36- 53<br>cm | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y no adherente y plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces pocas de tamaño fina y muy pocas de tamaño mediano. El límite del horizonte es difuso y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| B3<br>53-63<br>cm  | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y ligeramente plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo vesicular y pocos de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es abrupto y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| E<br>63-66<br>cm   | Color rojo débil (2.5YR5/2) en seco negro rojizo (2.5YR2.5/1) en húmedo; textura areno franco; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y no plástico en mojado. Presencia de poros comunes de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es abrupto y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

| Hz        | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C<br>66 + | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franca arcillo arenoso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia ligeramente duro en seco y en húmedo friable y ligeramente adherente y plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño mediano de tipo canales y pocos de tamaño fino de tipo vesicular, raíces pocas de tamaño fina y muy pocas de tamaño media. El límite del horizonte es claro y suave. |

### **Perfil no. 162**

Localizado en las coordenadas UTM 475398 y 1412102 a 81 msnm, dentro de la finca San José 2, en el lote B0702T09. Posicionado en un relieve plano (3%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil. Drenaje superficial bueno e interno moderado. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.

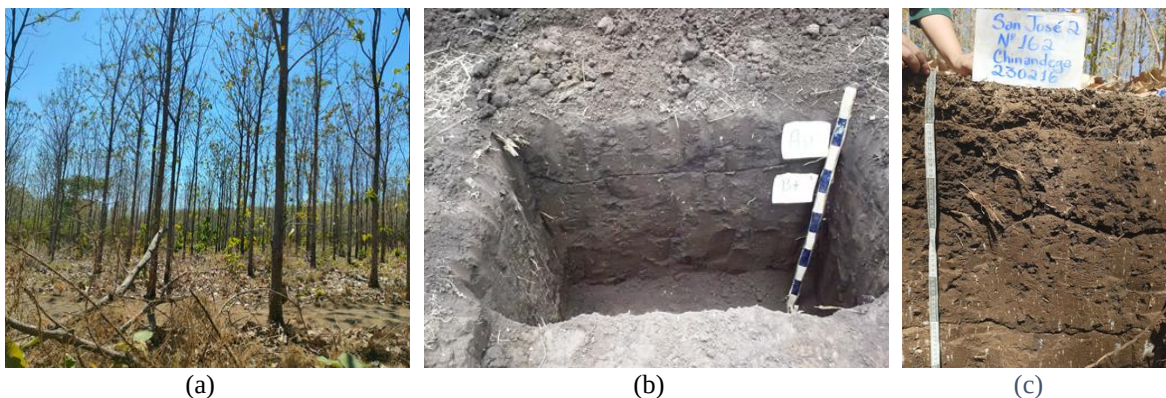


Figura 32. Perfil no. 162, finca San José 2, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 27. Descripción del perfil no. 162, finca San José 2, Chinandega, 2023.

| Hz               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ap<br>0-9<br>Cm  | Color marrón grisáceo oscuro (10YR4/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franca arcillo arenosa; estructura bloque subangular con fuerte resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo muy friable, adherente y plástico en mojado. Presencia de poros abundante de tamaño fino de tipo vesicular, raíces comunes de tamaño fina y pocas de tamaño mediana. El límite del horizonte es difuso y suave. Presenta una densidad aparente de (1.18g/ml); pH neutro (7); alto contenido de materia orgánica (5.69%); alto contenido de nitrógeno (0.28%); bajo contenido de fosforo (5.89mg/kg); alto contenido de potasio (0.734cmol+/kg); alto contenido de calcio (16.715cmol+/kg); alto contenido de magnesio (2.994cmol+/kg); contenido alto de hierro (68mg/kg); alto contenido de cobre (16.62mg/kg); contenido medio de zinc (3.31mg/kg); alto contenido de manganeso (12.01mg/kg); bajo contenido de boro (0.32mg/kg); bajo contenido de azufre (2.79mg/kg) y alta Conductividad de Intercambio Catiónico (20.30cmol+/kg). |
| AB<br>9-27<br>cm | Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo friable y adherente y plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño fino de tipo canales, raíces muy pocas de tamaño grande y pocas de tamaño mediana. El límite del horizonte es gradual y suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Hz                 | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bw<br>27- 57<br>cm | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo muy friable y adherente y muy plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño fino de tipo canales y comunes de tamaño muy fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño grande y pocas de tamaño mediano. El límite del horizonte es difuso y suave. |
| C<br>57 +          | Color marrón muy oscuro (10YR2/2) en seco negro (10YR2/1) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura bloque subangular con moderada resistencia. De consistencia duro en seco y en húmedo firme y adherente y muy plástico en mojado. Presencia de poros muy pocos de tamaño fino de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño fina. El límite del horizonte es claro y suave.                                                                             |

### Typic Haplustalfs

Suelo que presenta las características típicas de un alfisol, con horizonte argílico, desarrollado en un régimen de humedad ústico.

#### Perfil no. 96

Localizado en las coordenadas UTM 441384 y 1424521 a 53 msnm, dentro de la finca Poza de la Vaca, en el lote B1101T10. Posicionado en un relieve plano (1%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil 30%. Drenaje superficial bueno e interno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, sin evidencia de grado de erosión.

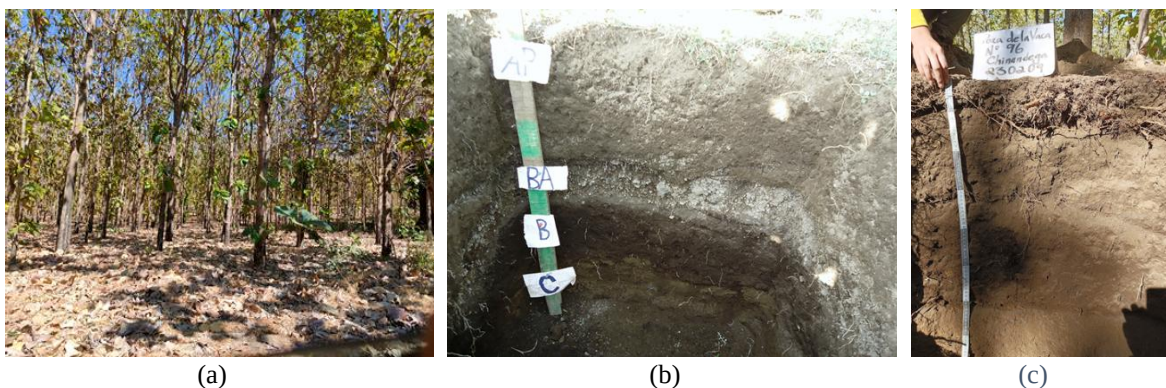


Figura 33. Perfil no. 96, finca poza de la Vaca, Chinandega. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 28. Descripción del perfil no. 96, finca Poza de la Vaca, Chinandega, 2023.

| Hz             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-9<br>cm | Color gris oscuro (5YR4/1) en seco y negro (7.5YR2.5/1) en húmedo; textura arenosa francosa; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo friable, no adherente y no plástico en mojado. Presencia de abundantes poros de tamaño finos de tipo canales y comunes de tamaño finos de tipo vesicular, raíces abundantes de tamaño finas y pocas grandes. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.49g/ml); pH neutro (7.05); medio contenido de materia orgánica (2.26%); medio contenido de nitrógeno (0.11%); bajo contenido de fosforo (6.69mg/kg); alto contenido de potasio (0.358cmol+/kg); medio contenido de calcio (5.366cmol+/kg); medio contenido de magnesio |



| Hz                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | (0.566cmol+/kg); contenido alto de hierro (43.98mg/kg); bajo contenido de cobre (1.25mg/kg); contenido bajo de zinc (0.73mg/kg); bajo contenido de manganeso (0.31mg/kg); bajo contenido de boro (0.4mg/kg); bajo contenido de azufre (4.04mg/kg) y bajo Conductividad de Intercambio Catiónico (6.39cmol+/kg).                                                                                               |
| B1<br>9-32<br>cm  | Color gris muy oscuro (7.5YR3/1) en seco y negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura arenoso franco; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable y no adherente y no plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño finos de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es gradual y suave.                |
| B2<br>32-60<br>cm | Color marrón oscuro (7.5YR2.5/2) en seco y (7.5YR2.5/1) en húmedo mantiene el mismo color; textura franco arenoso; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable, no adherente y no plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño finos de tipo vesicular, raíces pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es abrupto y suave. |
| R<br>60 +         | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### **Perfil no. 154**

Localizado en las coordenadas UTM 440531 y 1427604 a 113 msnm, dentro de la finca La Chiveca, en el lote B1110C11. Posicionado en un relieve plano (2%), sin presencia de pedregosidad superficial y dentro del perfil 2%. Drenaje superficial bueno e interno. El suelo no presentó humedad al momento del muestreo, con moderada evidencia de grado de erosión.

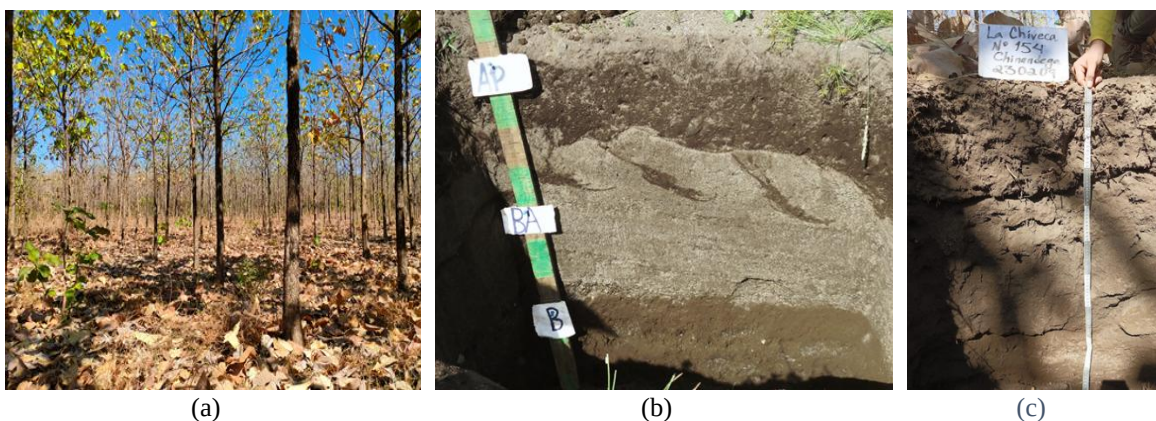


Figura 34. Perfil no. 154, finca La Chiveca. (a) plantación de *Tectona grandis* circundante al perfil, en el 2023; (b) Perfil muestreado en el 2012; (c) Perfil muestreado en el 2023.

Cuadro 29. Descripción del perfil no. 154, finca La Chiveca, Chinandega, 2023.

| <b>Hz</b>        | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A<br>0-23<br>cm  | Color gris oscuro (5YR4/1) en seco y negro (5YR2.5/1) en húmedo; textura franco-arenosa; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable, no adherente y no plástico en mojado. Presencia de pocos poros de tamaño finos de tipo vesicular, raíces comunes de tamaño mediano y muy pocas de tamaño grande. El límite del horizonte es claro y suave. Presenta una densidad aparente de (1.54g/ml); pH ligeramente ácido (6.59); medio contenido de materia orgánica (2.35%); medio contenido de nitrógeno (0.12%); medio contenido de fósforo (16.72mg/kg); medio contenido de potasio (0.232cmol+/kg); medio contenido de calcio (4.994cmol+/kg); medio contenido de magnesio (0.839cmol+/kg); contenido alto de hierro (76.76mg/kg); medio contenido de cobre (5.53mg/kg); contenido medio de zinc (1.51mg/kg); bajo contenido de manganeso (0.73mg/kg); bajo contenido de boro (0.3mg/kg); bajo contenido de azufre (6.82mg/kg) y baja Conductividad de Intercambio Catiónico (6.06cmol+/kg). |
| B<br>23-67<br>cm | Color marrón muy oscuro (10YR3/2) en seco y negro (10YR2/1) en húmedo; textura arenoso franco; estructura bloque subangular con débil resistencia. De consistencia suave en seco y en húmedo muy friable y no adherente y no plástico en mojado. Presencia de muy pocos poros de tamaño finos de tipo vesicular, raíces muy pocas de tamaño finas. El límite del horizonte es gradual y ondulado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| R<br>67 +        | Material parental                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

Los suelos Alfisoles son uno de los mejores suelos para la plantación de *T. grandis*. Estos suelos se caracterizan por su alta fertilidad y su capacidad para ser productivos, lo que los hace aptos para el cultivo de esta especie. La teca prefiere suelos arenosos o franco-arenosos que estén bien drenados y aireados.

La *T. grandis* se desarrolla óptimamente en suelos con un pH de 6.5 a 7.5. Dependiendo de su localización y manejo, los Alfisoles pueden cumplir con estas condiciones, proporcionando un entorno favorable para el crecimiento de la planta. Por lo tanto, los Alfisoles son una excelente opción para el cultivo de teca, ya que combinan fertilidad, buen drenaje y características que se alinean con las necesidades de esta especie. (Vinuela, 2012).

## **5.2.Variación en las propiedades fisicoquímicas del suelo**

Este acápite revela hallazgos significativos en cuanto a los parámetros físicos y químicos de las calicatas examinadas. Los análisis meticulosos nos han permitido identificar diferencias en las propiedades fisicoquímicas de los suelos, también, validar las variaciones a través de análisis de laboratorio y evaluaciones visuales. En adición, se expondrán los resultados derivados de la detección de variaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo, así como la verificación de diferencias significativas entre los promedios de estas propiedades mediante la aplicación de una prueba de hipótesis t para dos muestras relacionadas.

### **5.2.1. pH**

Según Vallejos (1996), el crecimiento de forma natural de *T. grandis* se da en áreas donde el pH oscila entre 6.5 a 7.5. Por debajo de un pH de 6.0 y por encima de un pH de 8.5 presenta un crecimiento pobre.



Se presentan los resultados de pH medidos en los dos momentos de muestreo para los tres núcleos. En este se visualiza que el pH presenta una tendencia de incremento durante el periodo de estudio, aunque no representa una diferencia significativa para los núcleos El Sauce y Nandaime.

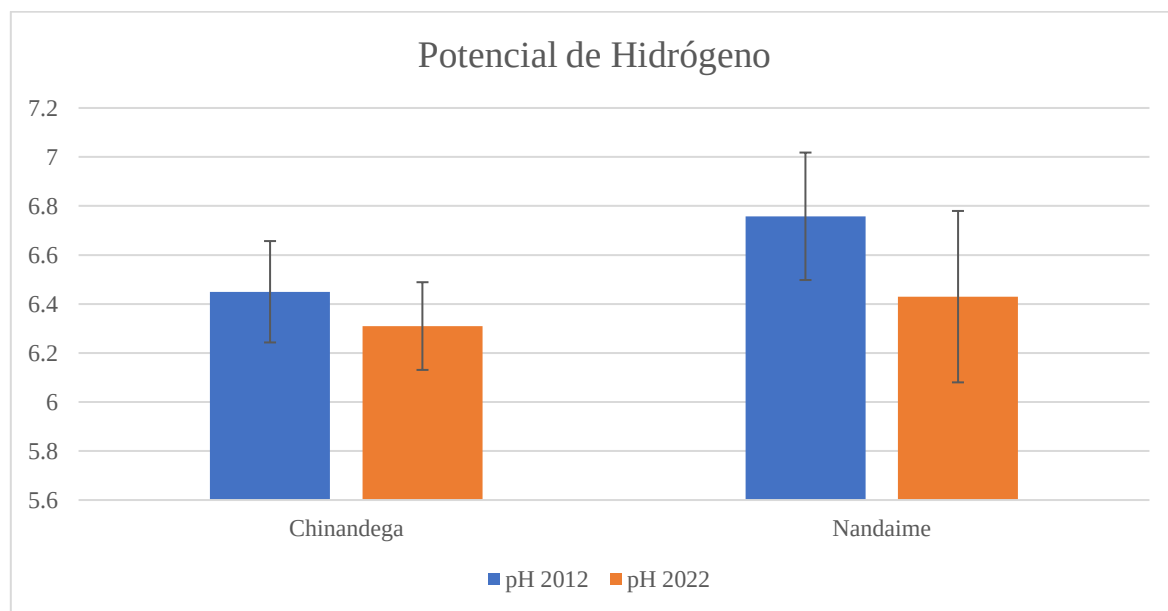


Figura 35. Comparación de los resultados de potencial de Hidrogeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, Chinandega.

Se destaca que en el núcleo Nandaime en el año 2022 presenta mayor dispersión, debido a la calicata 34 que presenta un incremento notable (6.30 a 7.20). Esto podría estar asociado al descenso del Hierro (Fe) como agente acidificante y aumento de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), lo que causa el aumento del pH en esta calicata.

Los suelos del núcleo Nandaime presentan pH ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino.

En el núcleo Sauce, los suelos no presentan diferencia significativa entre 2012-2022 ( $p > 0.05$ ), los cuales se mantienen en débilmente ácido y ligeramente alcalinos, también se muestra una pequeña variación en la calicata 74 que pasa (5.60 a 6.10), las demás muestran no mostraron variación en el transcurso de los años.

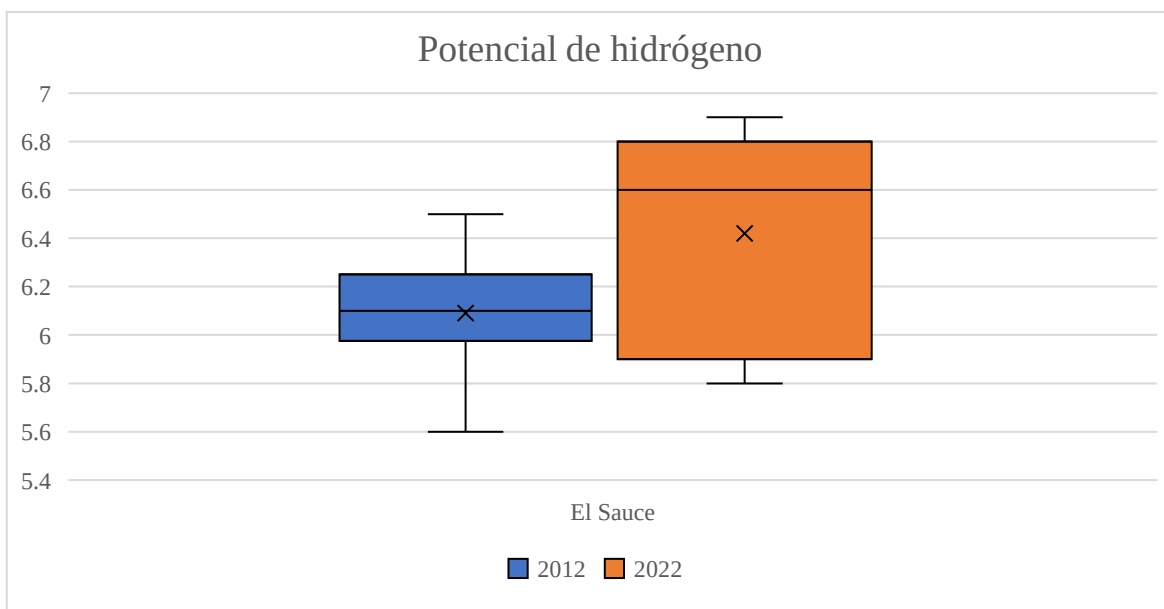


Figura 36. Comparación de los resultados de potencial de Hidrogeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce.

El pH en el núcleo **Chinandega**, se identificaron dos muestras que pasan de 6 a 7.05, siendo las calicatas 162 y 96. No se registra dato de acidez intercambiable y existe tendencia de las bases a subir. Este núcleo presenta diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el pH, reflejado como un aumento.

### 5.2.2. Carbono Orgánico y Nitrógeno

Según Fernández-Moya et al (2012), los valores estándar para *Tectona grandis* del carbono orgánico (COS) es de 1.79%.

En el núcleo Nandaime, se ha observado que el carbono orgánico (COS) mantiene una relación directa con el nitrógeno (N) en el suelo. Los niveles de ambos, COS y N, presentan concentraciones moderadas, con una variabilidad estadísticamente significativa a lo largo del tiempo ( $p < 0.05$ ). Dicha variabilidad hace referencia a las fluctuaciones observadas en las concentraciones de COS y N, las cuales pueden experimentar cambios debido a una serie de factores, incluyendo la composición química de los residuos orgánicos, las condiciones climáticas predominantes y los procesos de descomposición del carbono orgánico. Como es

el caso de la calicata número 34, que presenta variabilidad, donde la COS varía entre 1.94% y 5.83%, lo que indica una diferencia considerable y relevante para futuras investigaciones

Se registró un aumento significativo en el carbono orgánico (COS) y el nitrógeno (N) en el núcleo de Sauce ( $p < 0.05$ ). Este incremento podría deberse a la acidificación del suelo, que facilita la mineralización de compuestos orgánicos y afecta el ciclo del N. En las calicatas 78 y 63, el COS subió de baja a alta, con valores de 0.52 a 2.07 y 0.68 a 3.02, respectivamente. El aumento de COS y el N puede ser resultado de las prácticas agrícolas que añaden compuestos orgánicos al suelo o por condiciones climáticas que aceleran la mineralización, impactando directamente en la fertilidad del suelo y su capacidad para mantener una vegetación robusta.

En el núcleo de Chinandega, se ha detectado un incremento significativo en el carbono orgánico (COS) y en los niveles de nitrógeno (N), con una correlación estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). Específicamente, en las calicatas 155, 137 y 162, se ha registrado un aumento en COS, pasando de valores bajos en 2012 a valores más elevados en 2023. Este aumento en CO y el N puede estar estrechamente ligado a las plantaciones forestales de *T. grandis*, la cual es conocida por su capacidad para mejorar la calidad del suelo debido a su densa hojarasca y rápida descomposición, lo que contribuye significativamente al contenido de carbono orgánico. Además, las raíces de la teca pueden fijar nitrógeno en el suelo, enriqueciéndolo y favoreciendo así la fertilidad del mismo. Estas características hacen de las plantaciones de *T. grandis* un factor clave en el incremento observado de estos parámetros en el suelo de Chinandega.

En el transcurso del tiempo el **CO** ha tenido un incremento significativo, pasando de valores bajo a medios y altos.

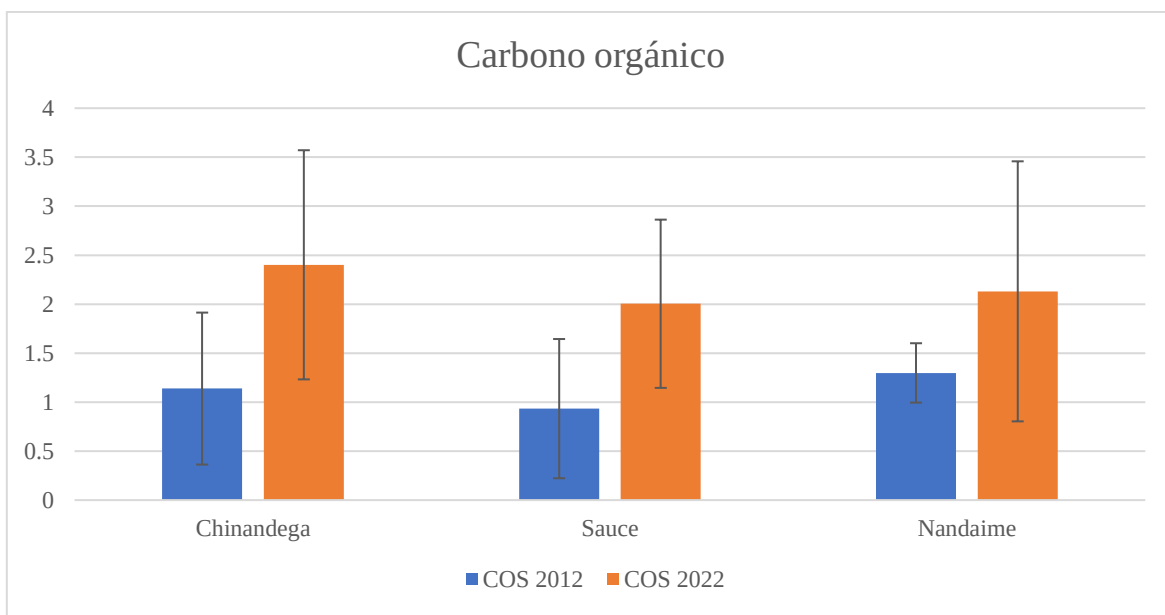


Figura 37. Comparación de los resultados de Carbono Orgánico del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

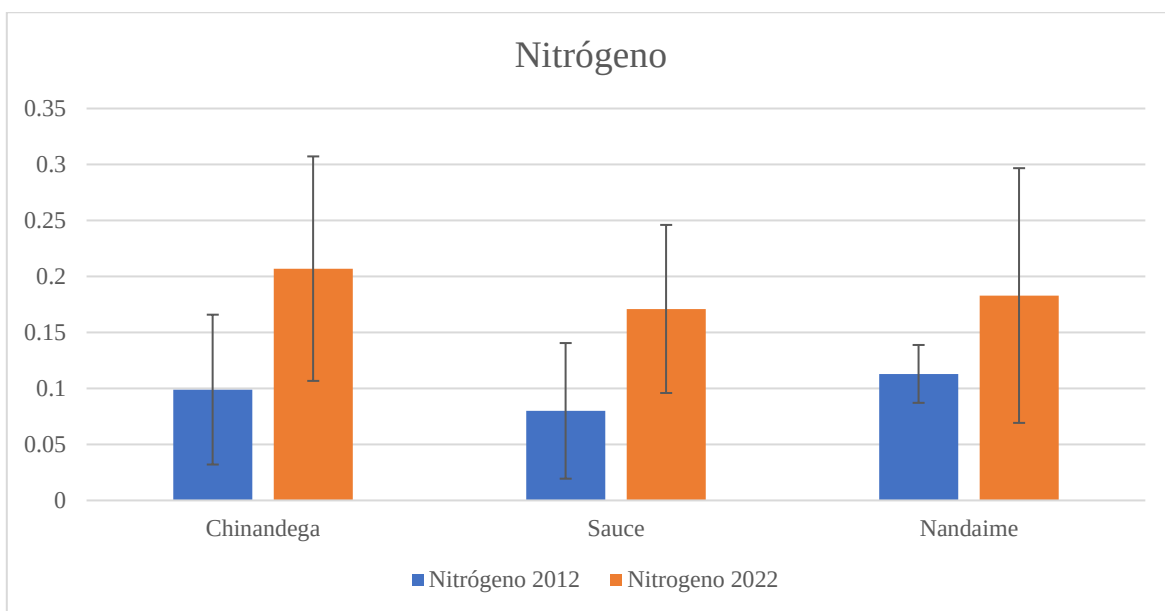


Figura 38. Comparación de los resultados de Nitrógeno del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

Las Figuras 37 y 38 ilustran los resultados para CO y N, revelando una tendencia al alza durante el periodo de estudio en los tres núcleos examinados. Específicamente en la calicata 34, donde los valores aumentaron de 1.94 a 5.83. Por otro lado, en El Sauce se detecta una mayor variabilidad, lo cual podría estar vinculado con la presencia de hojarasca en

descomposición encontrada en el área de estudio. En particular, la calicata 74 de este núcleo demuestra variaciones significativas en ambos años de estudio, presentando valores atípicos.

### 5.2.3. Fósforo

Según Fernández-Moya et al (2012), el aumento del aluminio en forma hidroxialumínica implica la absorción de fosfatos por sustitución de grupos hidroxilos que antes acomplejaban al aluminio reteniendo el fósforo. Otro efecto es que el aumento de la mineralización del N disminuya la mineralización del P.

El fósforo se mantiene bajo a lo largo del tiempo, pero nutricionalmente no incide en T. grandis. En 2012, este provenía de los minerales del suelo (inorgánico), mientras que en 2022-2023 se compensó con el aumento del carbono orgánico del suelo (COS) (orgánico). Lo cual sugiere que, aunque el fósforo inorgánico disminuyó, el aumento del COS ayudó a mantener los niveles de fósforo necesarios para el suelo.

El nitrógeno se mineraliza antes que el fósforo, lo que implica que su disponibilidad en el suelo es más rápida. Además, si las bases continúan aumentando, la retención de fósforo también aumentará, mejorando la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

En este tipo de suelo joven, la tendencia del fósforo a disminuir está definida por el desarrollo del suelo, se observa en todos los perfiles, ya que el fósforo no presenta una variabilidad significativa en el tiempo. Sin embargo, en los núcleos de **Nandaime y El Sauce**, los suelos mostraron una variación notable con el paso del tiempo, con una disminución del fósforo que resultó en variaciones significativas ( $p < 0.05$ ).

Para el núcleo **Chinandega**, la calicata 151 que en el 2012 se encontraba con un P medio de 10.30 y en el 2022 paso a un resultado alto de 30.74, hay aumento considerable, por ende, hay buena disponibilidad de P, posiblemente de origen orgánico, a diferencia con las demás muestras que no tienen variación con el paso del tiempo ( $p > 0.05$ ).

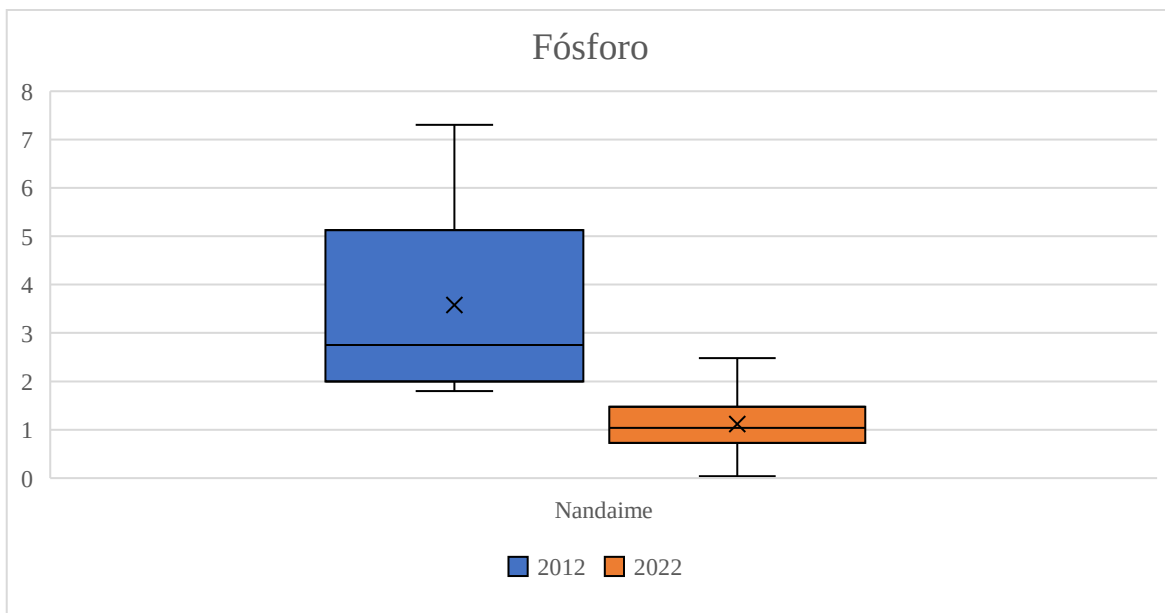


Figura 39. Comparación de los resultados de Fosforo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime.

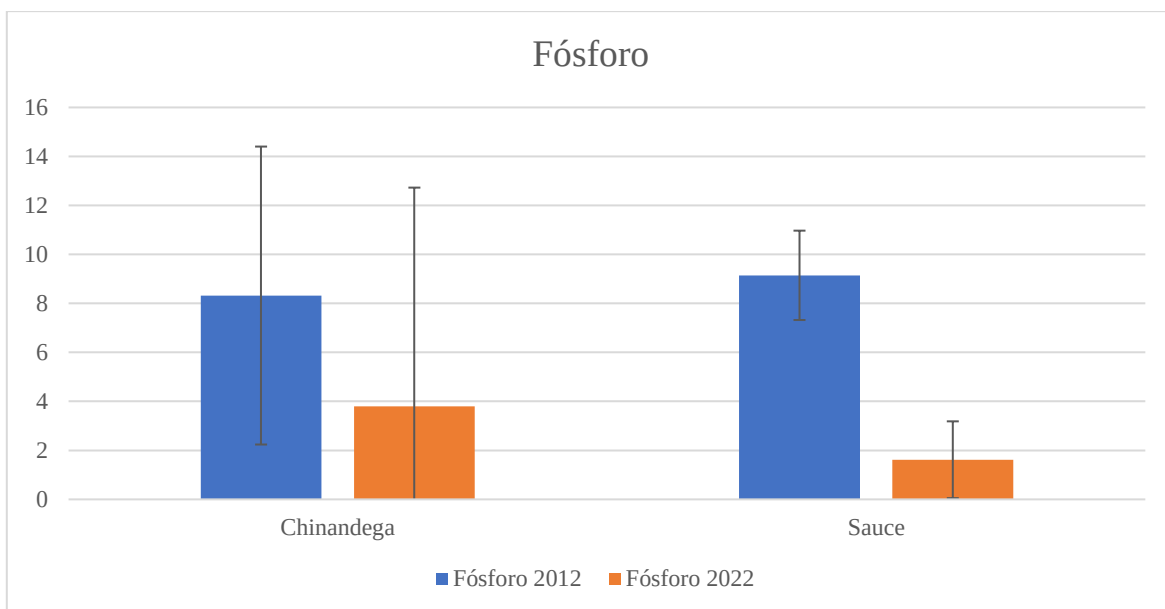


Figura 40. Comparación de los resultados de Fosforo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce, Chinandega.

En las figuras 39 y 40 muestran los resultados de las mediciones de fósforo. Se observa que en los núcleos de Sauce y Nandaime hay una diferencia significativa, con una tendencia general a la disminución de los niveles de fósforo. Este fenómeno podría estar relacionado con el proceso de desarrollo del suelo. Específicamente en Nandaime, se identificaron



valores atípicos en la calicata número 174. Por otro lado, en el núcleo de Chinandega, los resultados son bastante consistentes, sin mostrar variaciones considerables. No obstante, es importante destacar que, en el año 2023, la calicata número 151 experimentó un incremento notable en los niveles de fósforo, pasando de 10.30 a 30.74. (Rojas)

#### **5.2.4. Bases (K, Ca, Mg)**

Según Fernández-Moya et al (2012), los valores estándar del potasio en la *Tectona grandis* van de 0.3-0.4.

En Nandaime, se observa una ligera disminución en la disponibilidad de potasio (K), aunque los niveles se mantienen dentro del rango óptimo para el crecimiento de *T. grandis* ( $p < 0.05$ ). Esta estabilidad en los niveles de K puede atribuirse a la capacidad del suelo de reciclar este nutriente esencial, que es vital para procesos como la activación de enzimas y la regulación del potencial osmótico en la planta. (Osorio).

En la región de El Sauce, el análisis de las bases del suelo no muestra variaciones, dos muestras exhiben una disminución de altos a niveles medios. Específicamente, la calicata 155 muestra un cambio significativo, aumentando su nivel de bajo, con un valor de 0.100, a medio, con un valor de 0.258; las demás muestras permanecen sin variaciones significativas ( $p > 0.05$ ).

Desde una perspectiva química, estos cambios pueden estar relacionados con la dinámica de los nutrientes en el suelo, que incluye procesos como la mineralización, lixiviación y absorción por las plantas. La mineralización del carbono orgánico puede liberar nutrientes y aumentar su disponibilidad, mientras que la lixiviación puede reducir los niveles al lavar los nutrientes fuera del perfil del suelo. Además, la absorción por las plantas puede disminuir la concentración de nutrientes disponibles en el suelo.

Estos procesos son dinámicos y pueden variar considerablemente entre diferentes calicatas y condiciones ambientales, lo que explica las variaciones observadas en las muestras de Chinandega. (Arevalo, 2008).

En los tres núcleos estudiados, se ha registrado un descenso en los niveles de potasio (K) a lo largo del tiempo. El potasio se encuentra en el suelo principalmente como un catión intercambiable, adherido a las partículas de arcilla y carbono orgánico (COS), lo que facilita

su transición a la solución del suelo. Este fenómeno podría estar asociado con la absorción por parte de los coloides, tanto orgánicos (como el humus) como inorgánicos (las arcillas). A pesar de la disminución observada en el potasio, se mantienen relaciones inter catiónicas favorables para este elemento. Paralelamente, se ha detectado un incremento significativo en los niveles de calcio (Ca) y magnesio (Mg), alcanzando un aumento de hasta un 50% hasta el año 2022.

Esta dinámica sugiere una interacción compleja entre los cationes del suelo, donde la disminución de uno puede estar compensada por el aumento de otros, manteniendo así un equilibrio que favorece la fertilidad del suelo y su capacidad para sostener el crecimiento vegetal.

En el Mg se muestra una tendencia de descenso durante el periodo de estudio, para Chinandega no hay diferencia significativa; en Nandaime, el rango intercuartil se mantiene constante, aunque presenta mayor dispersión en el cuarto cuartil del año 2022, debido a la calicata 172 que presenta un incremento notable (8.90 a 77.28).

A lo largo de los tres núcleos, el calcio (Ca) muestra una tendencia al alza. No obstante, las diferencias no son significativas en los núcleos de El Sauce y Chinandega. De igual manera, Nandaime exhibe una constancia dentro del rango intercuartil, aunque se observa una mayor dispersión en el cuarto cuartil del año 2022. Este fenómeno se atribuye principalmente a la calicata 34, que refleja un incremento notable, pasando de 16.10 a 27.10. Esta variabilidad podría estar influenciada por factores locales específicos que afectan la disponibilidad y movilidad del calcio en el suelo de Nandaime.

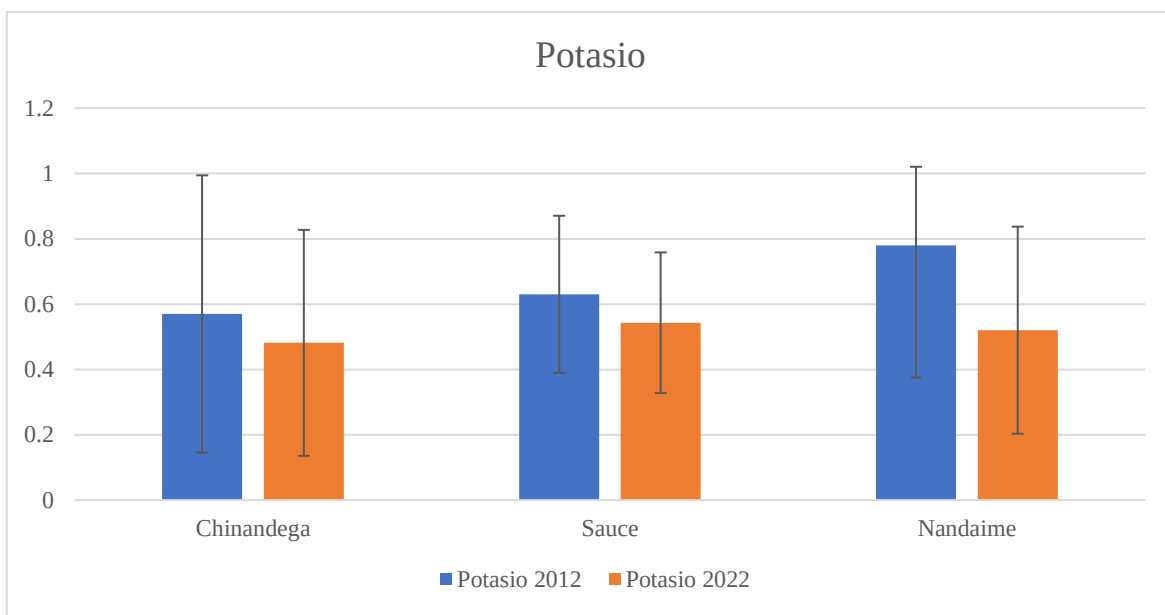


Figura 41. Comparación de los resultados de Potasio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

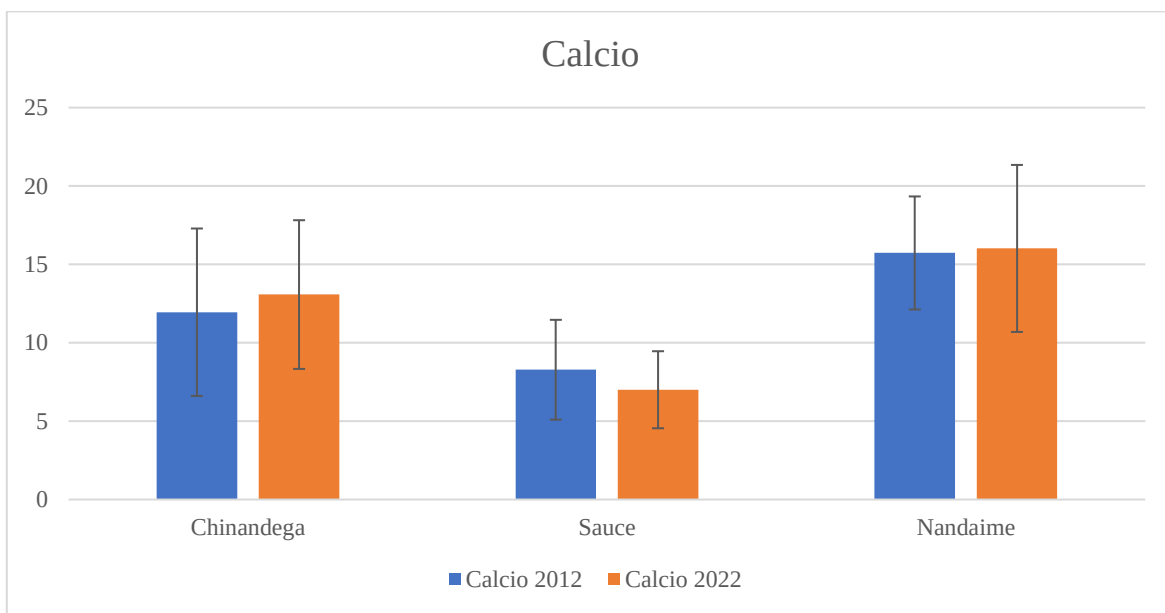


Figura 42. Comparación de los resultados de Calcio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

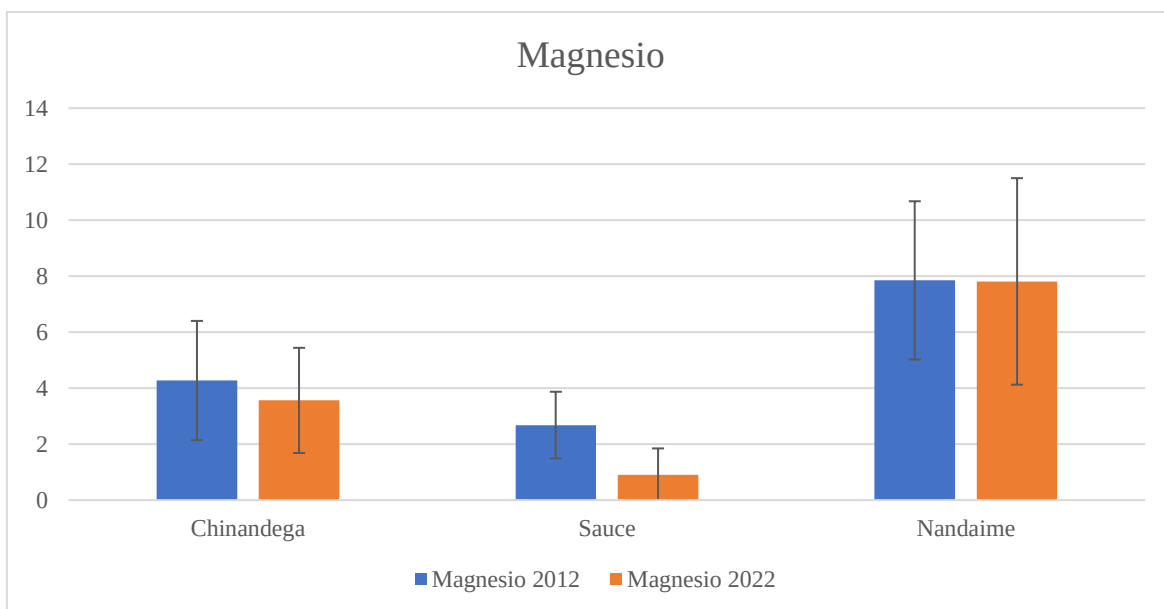


Figura 43. Comparación de los resultados de Magnesio del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

#### 5.2.5. Microelementos (Fe, Mn, Cu, Zn)

Según Fernández-Moya et al (2012), los valores estándar del hierro en la *Tectona grandis* van de 81-165. En este caso en los núcleos siempre se muestra con niveles altos, pero habiendo variación entre los datos. Para los microelementos (Fe, Cu, Zn y Mn) se observan valores de intermedio a altos propiciando así que el crecimiento de la teca se vea influenciado en el tiempo.

Por otro lado, en situaciones donde hay un alto contenido de fósforo (P), se observa una reducción en la traslocación del Zn, afectando su disponibilidad para las plantas. Este patrón se ha identificado en los tres núcleos estudiados, con niveles de Zn que generalmente oscilan entre medios y bajos. Sin embargo, es notable que, en el núcleo de Chinandega, específicamente en la calicata número 128, se registró un cambio de un nivel medio a un nivel alto de Zn en el año 2023.

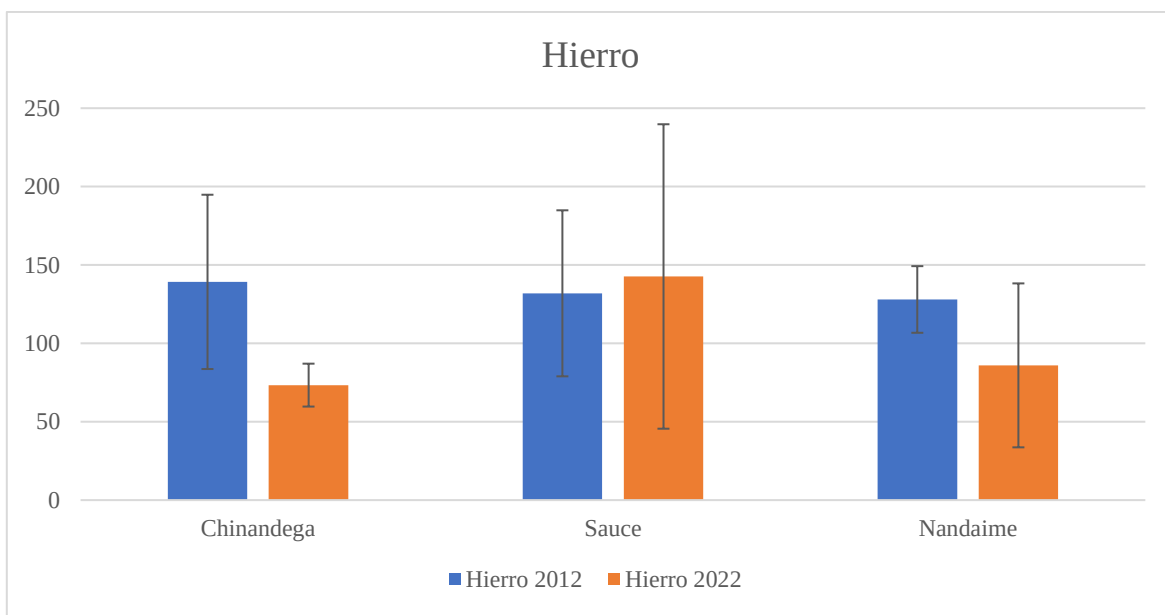


Figura 44. Comparación de los resultados de Hierro del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

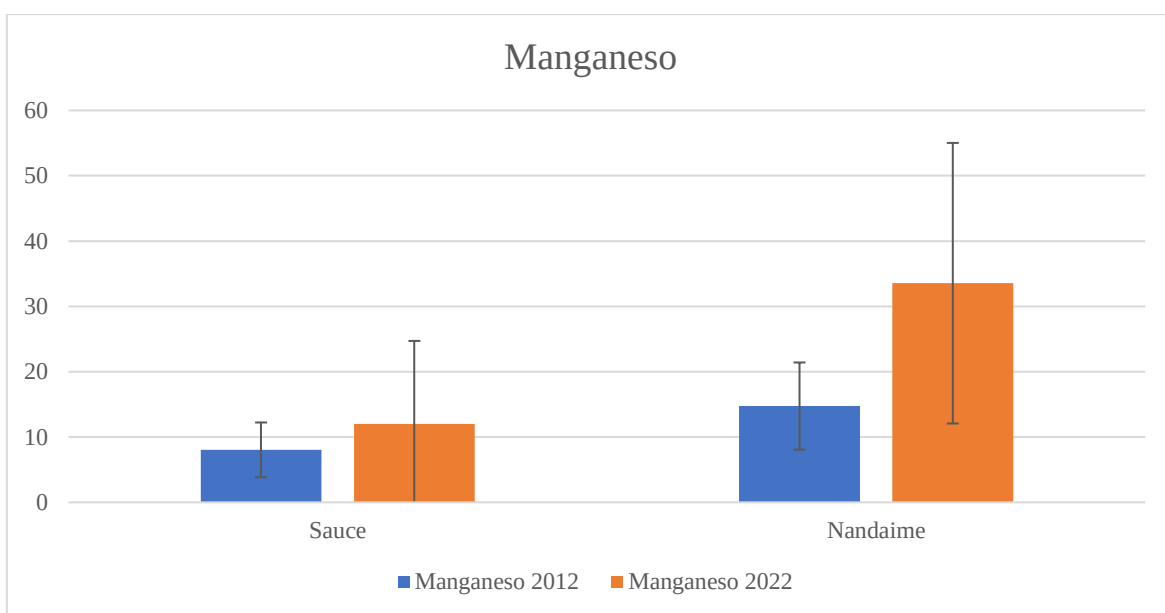


Figura 45. Comparación de los resultados de Manganeso del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce.

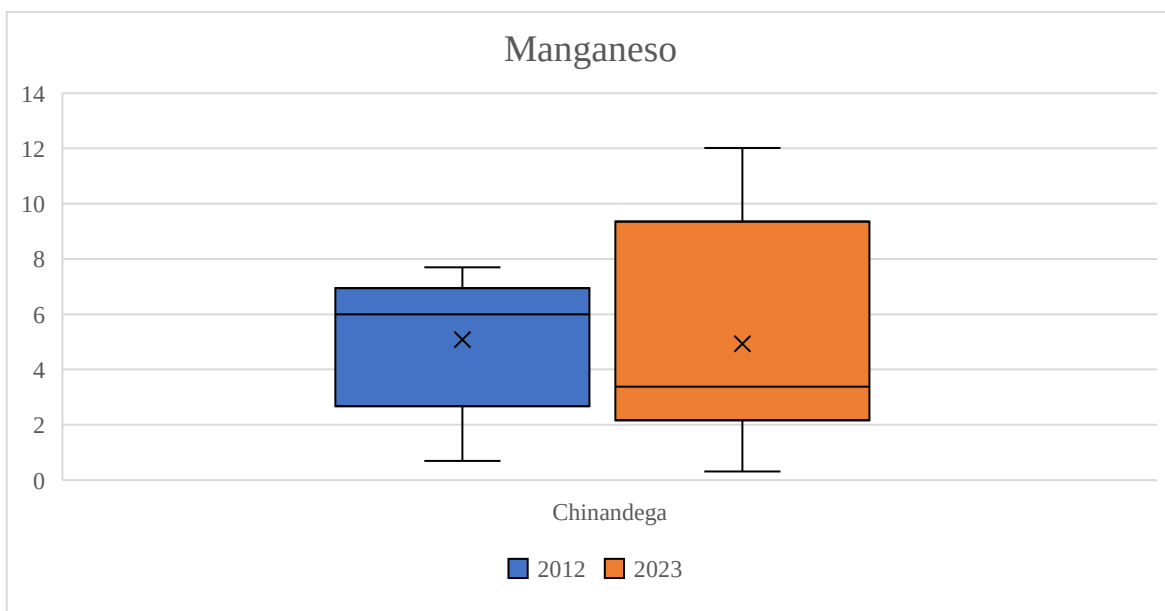


Figura 46. Comparación de los resultados de Manganeso del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Chinandega.

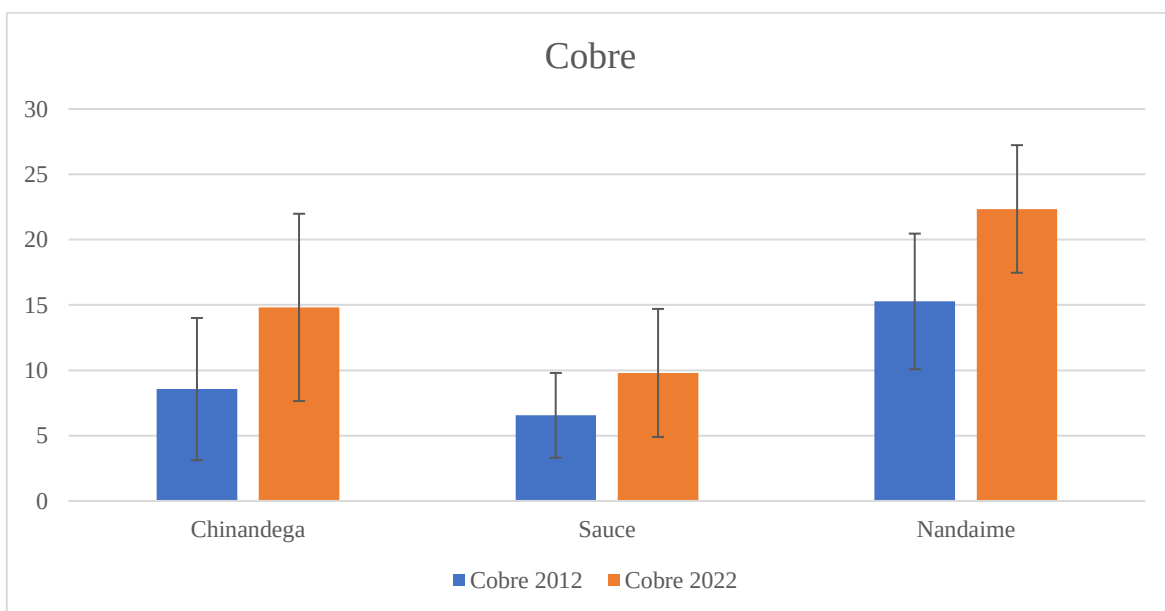


Figura 47. Comparación de los resultados de Cobre del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.



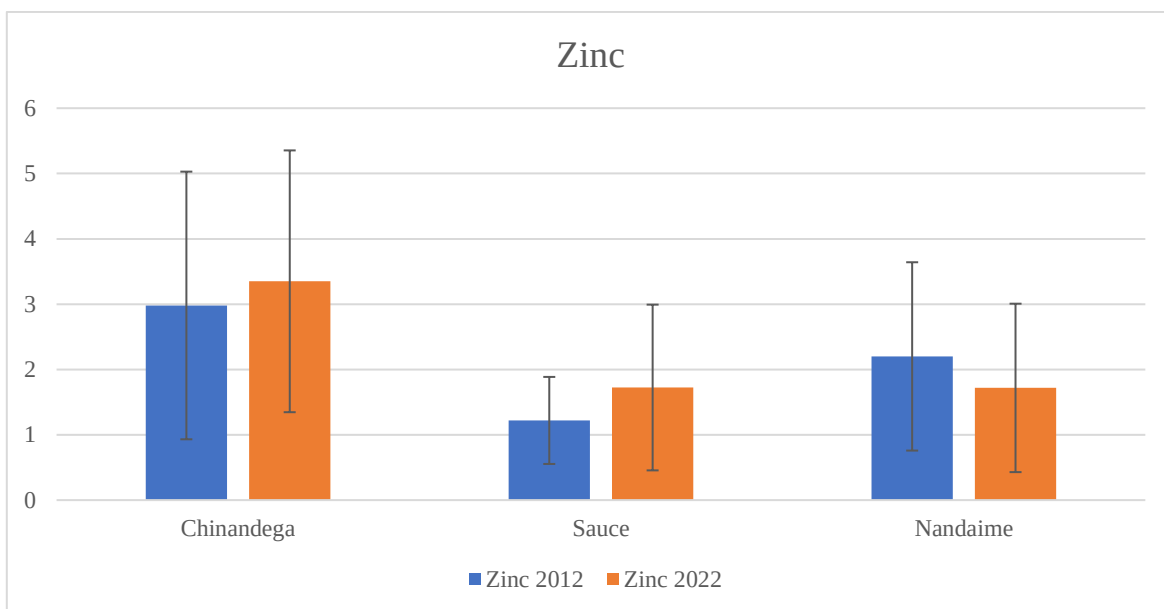


Figura 48. Comparación de los resultados de Zinc del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

En relación con el manganeso (Mn) en los tres núcleos analizados, se ha identificado una clara tendencia hacia la acidez del suelo como un factor favorable. La interacción con el carbono orgánico (COS) juega un papel crucial, ya que promueve la oxidación del Mn, haciéndolo más disponible para las plantas. Afortunadamente, las cantidades de Mn observadas en estos estudios se mantienen dentro de un rango que no representa toxicidad para la teca, lo que indica un ambiente propicio para su crecimiento sin el riesgo de acumulación nociva de este elemento.

En la figura 41 se presentan resultados del Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc en los tres núcleos. Con respecto al hierro (Fe), se evidencia una tendencia ascendente, lo que resulta en diferencias significativas. En Nandaime y El Sauce se aprecia una dispersión en el año 2022, especialmente en la calicata 55 donde el incremento es considerable, pasando de 130.60 a 312.64.

Por otro lado, en Chinandega se registra un descenso, posiblemente vinculado a la alcalinidad del suelo. Es importante resaltar que el pH del suelo es un factor determinante en la disponibilidad del Fe, ya que afecta su solubilidad y, por ende, su accesibilidad para las plantas.

Para el Zinc, se observa tendencia de incremento, aunque no representa diferencia significativa para los núcleos.

El Manganeso muestra tendencia de incremento durante el periodo de estudio, con diferencias significativas para los núcleos. Nandaime se mantiene constante, sin embargo, el año 2022 muestra mayor dispersión, debido a la calicata 172 que muestra un incremento notable (8.90 a 77.28). También, El Sauce, muestra mayor dispersión debido a la calicata 63 que presenta un incremento notable en el año 2022 (8.90 a 41.85).

Durante el periodo de estudio, el cobre exhibió una tendencia de incremento, mostrando diferencias significativas entre los núcleos. Este comportamiento puede explicarse por la alta movilidad del cobre en suelos con elevado contenido de COS. En estos suelos, el cobre tiende a formar complejos con el COS, lo que aumenta su solubilidad y movilidad a través del perfil del suelo. Por lo tanto, el aumento del COS durante el periodo de estudio facilitó la mayor disponibilidad y movilidad del cobre, explicando así el incremento observado en su concentración.

#### **5.2.6. Textura y Densidad Aparente**

Estos gráficos proporcionan una visión clara de cómo la textura del suelo varía con el tiempo, las arcillas tienden a la retención del movimiento del agua y aire, siendo adhesivo a altos contenidos de humedad; los suelos con alto contenido de arena retienen poca agua, debido a los grandes espacios entre sus partículas, y el limo que contiene partículas de tamaño más pequeño puede retener mayor cantidad de agua en el suelo.

Además, tomaremos en cuenta la densidad aparente del suelo, un parámetro que nos proporciona información valiosa sobre el grado de compactación y la porosidad de este mismo. Estos factores son cruciales ya que pueden influir en la capacidad del recurso para retener agua y nutrientes.

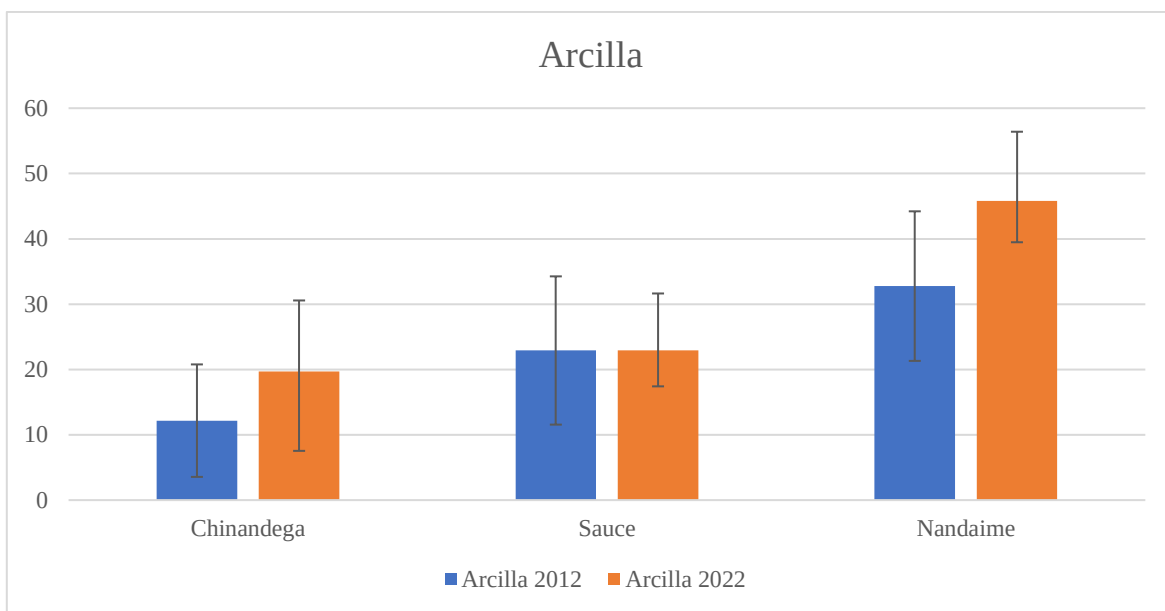


Figura 49. Comparación de los resultados de Arcilla del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

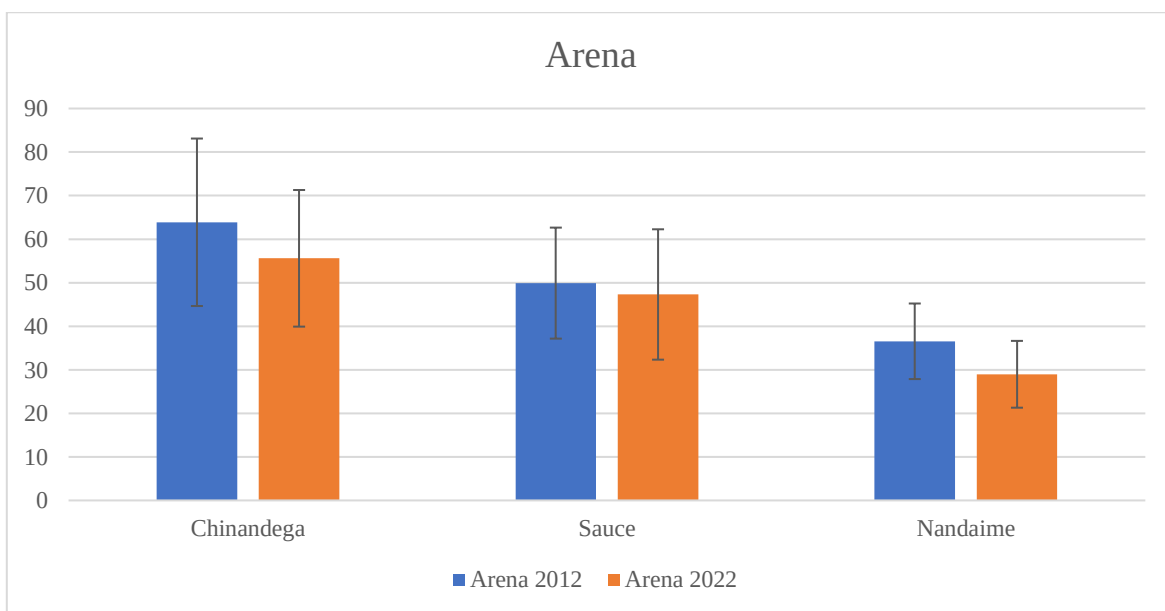


Figura 50. Comparación de los resultados de Arena del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

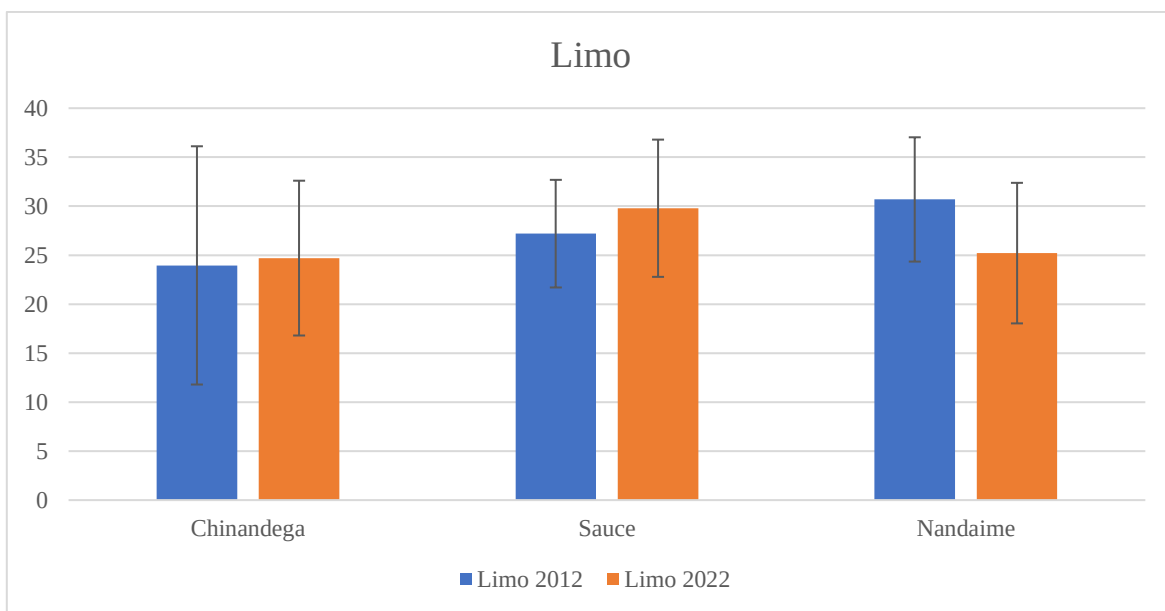


Figura 51. Comparación de los resultados de Limo del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, El Sauce, Chinandega.

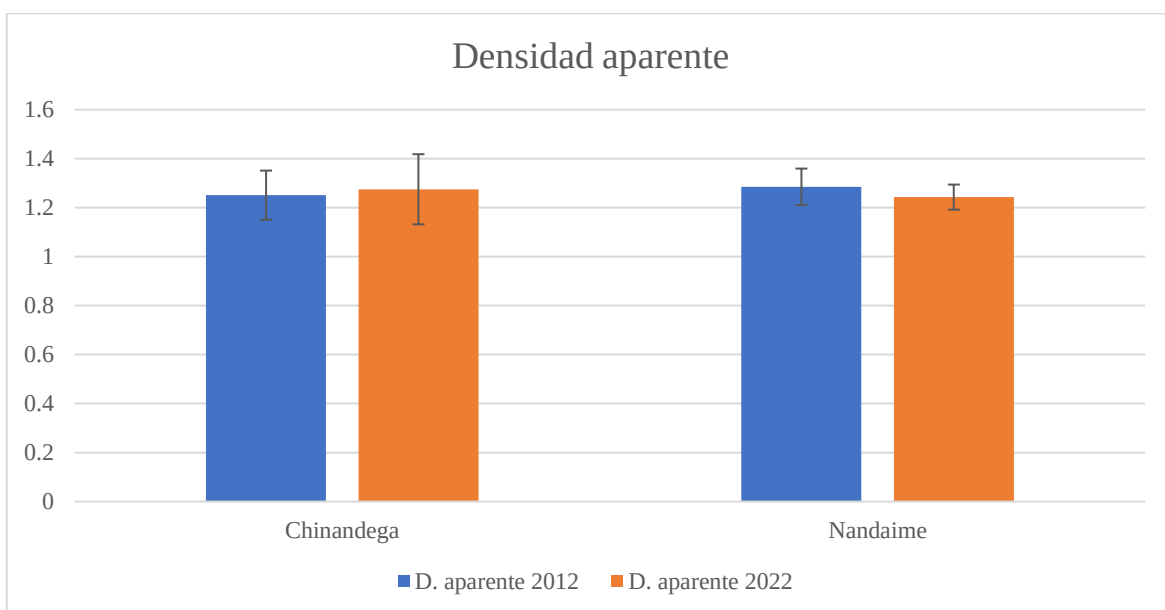


Figura 52. Comparación de los resultados de Densidad aparente del año 2012 y 2022-2023 del núcleo Nandaime, Chinandega.

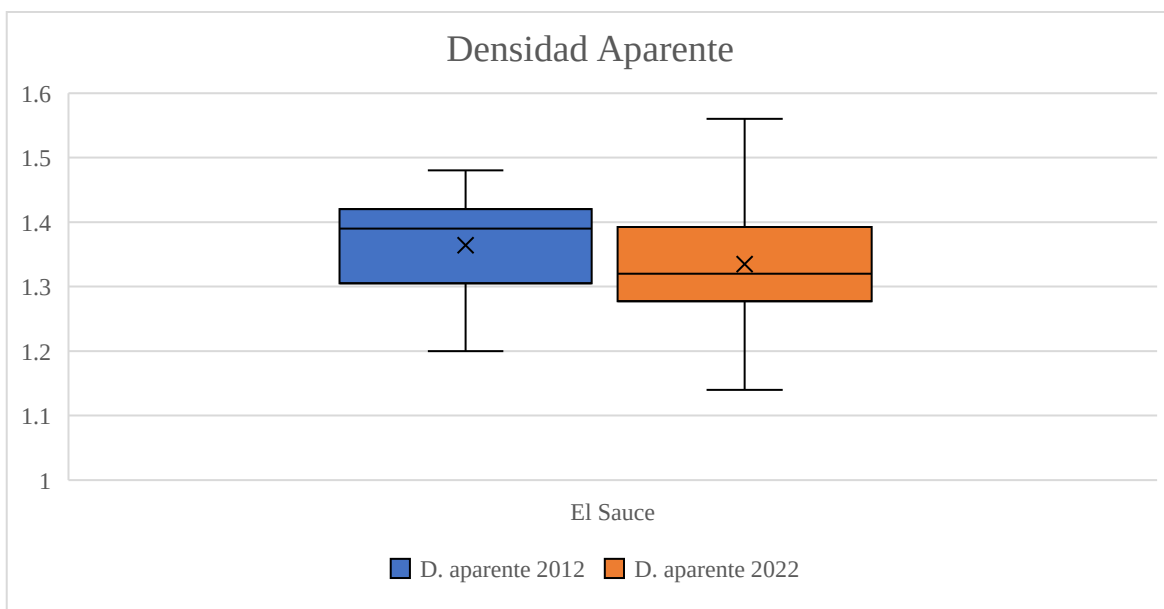


Figura 53. Comparación de los resultados de Densidad aparente del año 2012 y 2022-2023 del núcleo El Sauce.

En Nandaime, la cantidad de arcilla ha aumentado orgánicamente de 2012 a 2022, sugiriendo un incremento en las partículas finas del suelo. La arena ha disminuido ligeramente, indicando una reducción en las partículas gruesas, mientras que el limo se ha mantenido relativamente constante con ligeras variaciones.

En El Sauce, la cantidad de arcilla también ha aumentado en 2022, lo que podría afectar la retención de agua y nutrientes. La arena ha disminuido, influyendo en la permeabilidad del suelo, y el limo se ha mantenido constante con pequeñas variaciones.

En el Núcleo Chinandega, la cantidad de arcilla ha mostrado un aumento orgánico en 2023, similar a los otros núcleos. La arena ha disminuido, siguiendo la misma tendencia, y el limo se ha mantenido constante con ligeras variaciones.

Con respecto a la variabilidad de Densidad Aparente, se ha mostrado un ligero aumento en 2022 en comparación con 2012 en todas las ubicaciones, pero sin mostrar variabilidad significativa. Esto sugiere una mayor compactación del suelo, lo que puede afectar la porosidad y la capacidad de retención de agua.

## VI. CONCLUSIONES

Los suelos estudiados se clasificaron dentro de los grupos: Vermic Ustorthents, Typic humustepts, Typic haplustepst, Typic HaplustalFs, Vertic HaplustalFs, Typic Haplusterts, Alfic Haplustands, Lithic Haplustands y Humic Haplustands. Estos grupos pertenecen a los órdenes de suelos Entisol, Inceptisol, Alfisol, Vertisol y Andisol. A nivel de grupo, estos suelos comparten la presencia de horizontes diagnósticos como el cámbico y argílico, indicativos de un cierto grado de desarrollo y diferenciación edafológica.

A nivel de subgrupo, la mayoría de los suelos muestran adaptaciones a un régimen de humedad ústico, lo que refleja una capacidad de retención de humedad moderada y una textura que varía de arcillosa a arenosa. Además, en algunos perfiles hay características como la pedregosidad y la presencia de materia orgánica, lo que sugiere una influencia directa del material parental y las condiciones ambientales en su formación y evolución.

Entre 2012 y 2022-23, se observaron variaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas del suelo en diferentes núcleos. El pH aumentó en Chinandega, mientras que en El Sauce y Nandaime no hubo cambios significativos. El carbono orgánico y el nitrógeno aumentaron notablemente en los tres núcleos. El fósforo disminuyó significativamente en Nandaime y El Sauce, pero aumentó en Chinandega.

Los niveles de potasio disminuyeron en los tres núcleos, mientras que el calcio y el magnesio aumentaron, especialmente en Nandaime. Aunque el potasio mostró una ligera disminución, se mantuvo dentro de los rangos óptimos para el crecimiento de *T. grandis*, lo que sugiere una menor variabilidad en este nutriente esencial.

Las diferencias significativas detectadas en el pH, el Carbono Orgánico (COS), el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y las Bases (K, Ca, Mg) pueden atribuirse a una variedad de factores ambientales y de manejo del suelo que han surgido durante la última década. Estos incluyen: cambios en la cobertura vegetal lo que puede ocasionar incremento en COS y el N, variaciones climáticas pueden afectar los niveles de P y las Bases, y los procesos naturales de evolución del suelo, que influyen directamente en su composición y estructura.



Es importante destacar que estos cambios no son necesariamente negativos, sino que pueden ser indicativos de la dinámica y evolución natural del ecosistema del suelo.

Los datos de textura reflejan una evolución notable del suelo en Nandaime, Sauce y Chinandega a lo largo del tiempo. Se observa un incremento en la proporción de arcilla en todas las ubicaciones, mientras que la proporción de arena ha experimentado una disminución. Por otro lado, la proporción de limo ha permanecido relativamente estable. Adicionalmente, la densidad aparente ha mostrado un aumento sutil en 2022 en todas las ubicaciones, lo que sugiere una compactación más pronunciada del suelo.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- La Red BPA (Buenas Prácticas Agrícolas), recomienda realizar estudios de suelo cada cinco años para monitorear y evaluar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo de manera continua. Esta periodicidad permite detectar cambios graduales y tendencias a largo plazo, facilitando la identificación temprana de problemas como la degradación del suelo, la pérdida de nutrientes y la contaminación.
- Para dar seguimiento al estudio, se recomienda realizar un muestreo sistemático y un análisis de laboratorio que incluya parámetros previamente omitidos. Además, es fundamental comparar los resultados obtenidos con investigaciones regionales. El monitoreo continuo es esencial para obtener datos precisos y útiles para caracterizar el comportamiento del suelo.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Alvarado, A. (2006). *Nutrición y Fertilización de la Teca*. Informaciones Agronómicas. No. 61. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20Fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20Teca.pdf)
- Camino Velozo, R (2018). *Diagnóstico del Sector Forestal en Nicaragua: Movilizando el sector Forestal y atrayendo inversiones*. Nota técnica del Banco Interamericano para el Desarrollo.
- Camino, R; Bodowski, G. (1998). *Impactos ambientales de las plantaciones forestales y medidas correctivas de carácter silvicultural*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/262728776\\_Impactos\\_ambientales\\_de\\_las\\_plantaciones\\_forestales\\_y\\_medidas\\_correctivas\\_de\\_caracter\\_silvicultural](https://www.researchgate.net/publication/262728776_Impactos_ambientales_de_las_plantaciones_forestales_y_medidas_correctivas_de_caracter_silvicultural)
- FAO. (2006). *Guía para la descripción de suelos*. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- growing plantations. A. Grey, Schonau, D.A., C. Schutz, Editors. Pretoria
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitive Pedology*. Dover Publications, INC. New York.
- Lamenca, MB. (s.f). *Suelos agrícolas volcánicos de América Central*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5075998.pdf>
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio; Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1971). *Levantamiento de Suelos de la región Pacífica de Nicaragua*. Vol. I. Parte 1: Uso y Manejo de suelos. Managua, Nicaragua.
- Müggenburg Rodríguez, MC; Pérez Cabrera, I. (2007). *Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Prado, JA. (s.f). *Plantaciones forestales: Más allá de los árboles*. Disponible en: <https://cifag.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-plantaciones.pdf>
- Raison, RJ. (1984). *Potential adverse effects of forest operations on the fertility of soils supporting fast growing plantations* in: IUFRO Symposium on site productivity of fast.

- Ruiz Fonseca, C.J. (2010). *Texto de metodología de la investigación*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Siqueira, GM; Vieira, SR; Souza, ZM; Dafonte, J; Paz, A. (2007). *Utilización de herramientas estadísticas y geoestadísticas para optimización del muestreo de propiedades físicas del suelo*. Estudios de la zona no satura del suelo Vol. VIII. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/311706853\\_UTILIZACION\\_DE\\_HERRAMIENTAS\\_ESTADISTICAS\\_Y\\_GEOESTADISTICAS\\_PARA\\_OPTIMIZACION\\_DEL\\_MUESTREO\\_DE\\_PROPIEDADES\\_FISICAS\\_DEL\\_SUELO](https://www.researchgate.net/publication/311706853_UTILIZACION_DE_HERRAMIENTAS_ESTADISTICAS_Y_GEOESTADISTICAS_PARA_OPTIMIZACION_DEL_MUESTREO_DE_PROPIEDADES_FISICAS_DEL_SUELO)
- UNA; CRS. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelos*. Disponible en:  
<https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Bolaños Taleno, K. C. A. (2001). *Estudio de 16 procedencias de Teca (Tectona grandis L.f.) en Nicaragua*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023, de <https://repositorio.una.edu.ni/984/1/tnk10b687.pdf>
- Cruz Enrique, G. (2014). *Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (Tectona grandis Linn F), Siuna, RAAN*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023, de <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04c957.pdf>
- Zúñiga Fallas, J.L. (2014). *Respuesta a la fertilización de la teca (Tectona grandis L.f) con NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica. Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/267327190\\_RESPUESTA\\_A\\_LA\\_FERTILIZACION\\_DE\\_LA\\_TECA\\_Tectona\\_grandis\\_Lf\\_CON\\_NPK\\_EN\\_ULTISOLES\\_DE\\_LA\\_ZONA\\_NORTE\\_DE\\_COSTA\\_RICA](https://www.researchgate.net/publication/267327190_RESPUESTA_A_LA_FERTILIZACION_DE_LA_TECA_Tectona_grandis_Lf_CON_NPK_EN_ULTISOLES_DE_LA_ZONA_NORTE_DE_COSTA_RICA)
- Zapata Garmendia, M. (2020). *Aplicaciones de estadística básica*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 21 de Enero de 2024, de chrome-extension:  
<https://repositorio.una.edu.ni/4112/1/N005.369G233.pdf>

Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua, M. (., Ministerio de Economía, I. y. C., & Ministerio de Agricultura y Ganadería, M. (. (1971). *Levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua. Parte 2: Descripción de suelos*. Managua (Nicaragua):

<https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.010295/Description>

Arévalo, G. C. (2008). *Calidad y Manejo de Suelos en la zona de Chinandega y Leon Nicaragua. Nicaragua*. Recuperado el 10 de Enero de 2024, de

<https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN30A683.pdf>

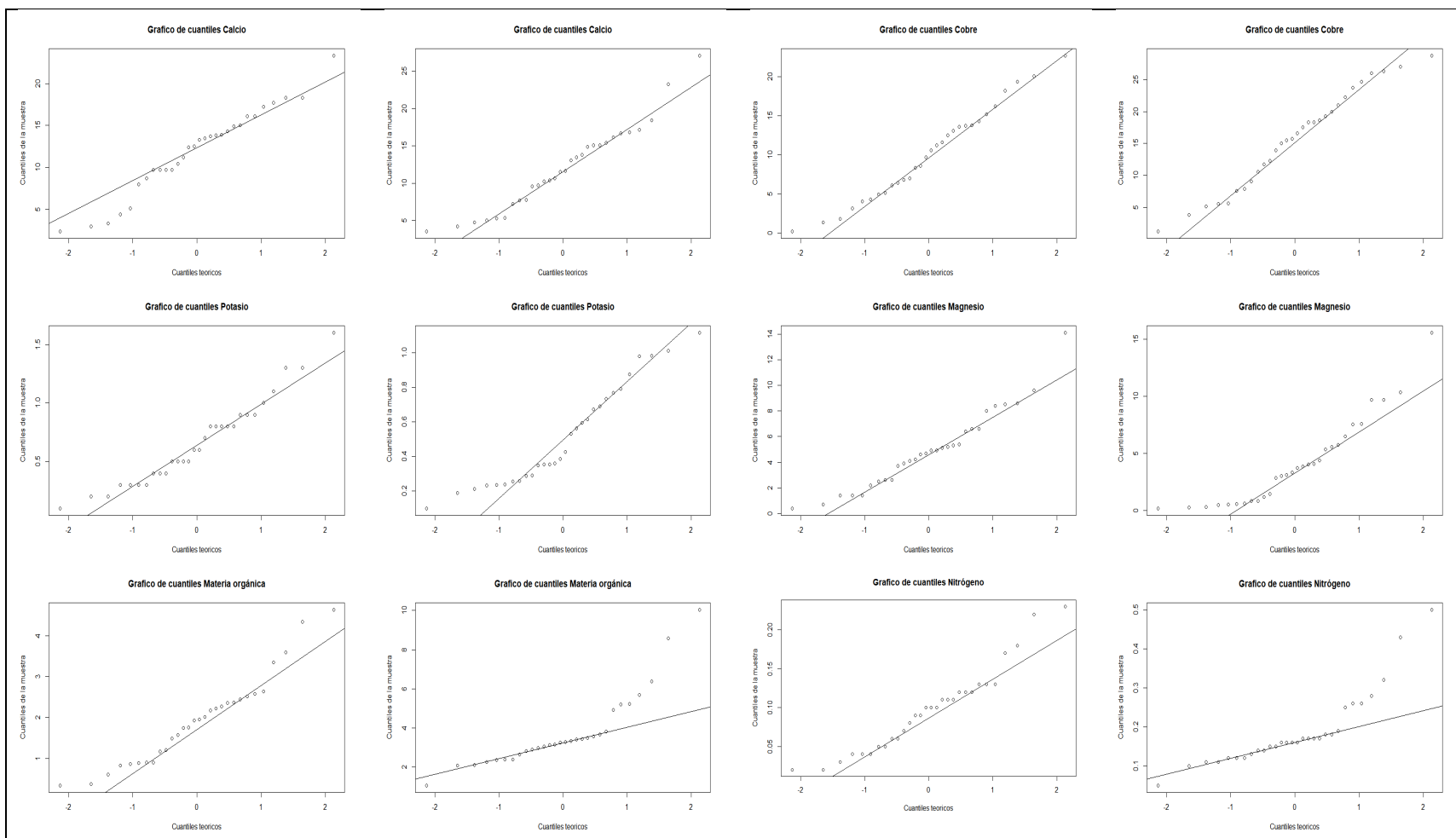
Osorio, W. (s.f.). *Potasio en el Suelo*. Colombia. Recuperado el 10 de Enero de 2024, de

<https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/8%20POTASIO%20EN%20EL%20SUELO.pdf>

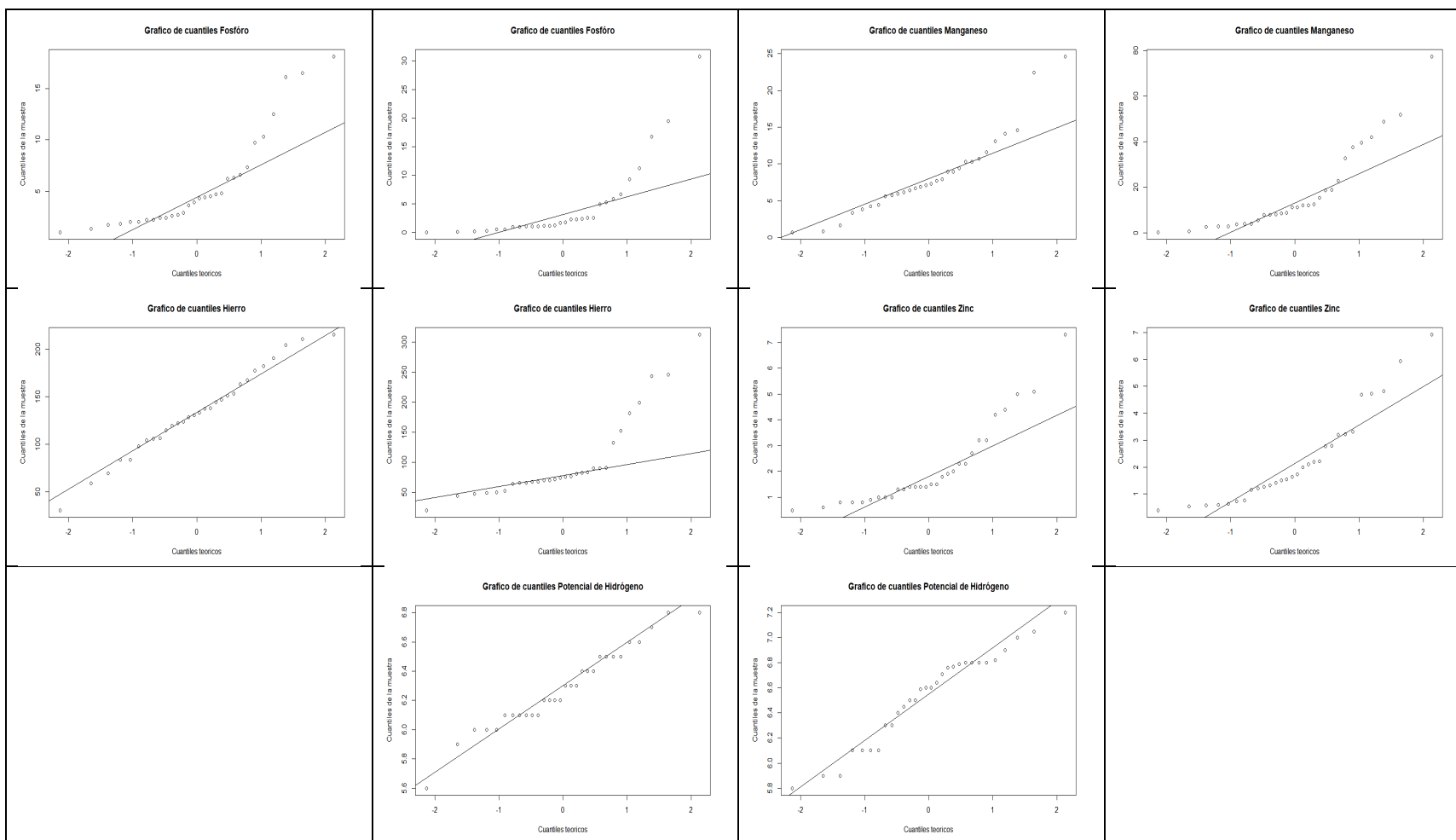
Rojas, C. (s.f.). *EL FÓSFORO DISPONIBLE Y SU INCREMENTO EN LOS SUELOS DEGRADADOS*. Santiago. Recuperado el 10 de Enero de 2024, de

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8375/NR29561.pdf?sequence=4>

## IX. ANEXOS



Anexo 1. Resultados de los qqplot (gráficos de cuantiles) de Calcio, Cobre, Potasio, Magnesio, carbono orgánico e Hidrogeno de los núcleos de Nandaime, Sauce y Chinandega



Anexo 2. Resultados de los qqplot (gráficos de cuantiles) de Fosforo, Manganese, Hierro, Zinc y potencial de hidrogeno de los núcleos de Nandaime, Sauce y Chinandega



Anexo 3. Resultados p-valué con la prueba T y Wilcoxon para muestras dependientes

| <i>Parámetro</i> | <b>Nandaime</b> | <b>Sauce</b> | <b>Chinandega</b> |
|------------------|-----------------|--------------|-------------------|
| <b>pH</b>        | 0.3212          | !0.0939      | 0.0105            |
| <b>MO</b>        | 0.0032          | 0.0008       | 0.0001            |
| <b>N</b>         | 0.0009          | 0.0009       | 0.0001            |
| <b>P</b>         | ! 0.0483        | 0.0026       | 0.9197            |
| <b>K</b>         | 0.0105          | 0.4301       | 0.8676            |
| <b>Ca</b>        | 0.8322          | 0.2944       | 0.2524            |
| <b>Mg</b>        | 0.961           | 0.0009       | 0.065             |
| <b>Fe</b>        | 0.0128          | 0.6367       | 0.0041            |
| <b>Mn</b>        | 0.0112          | 0.1011       | ! 0.7695          |
| <b>Cu</b>        | 0.0005          | 0.0869       | 0.0055            |
| <b>Zn</b>        | 0.1486          | 0.3329       | 0.2265            |
| <b>Arcilla</b>   | 0.0008          | 0.9989       | 0.0019            |
| <b>Limo</b>      | 0.0015          | 0.3691       | 0.6656            |
| <b>Arena</b>     | 0.0053          | 0.5511       | 0.0073            |
| <b>Da</b>        | 0.1973          | !0.9593      | 0.3876            |

!:Resultado obtenido con la prueba Wilcoxon

|    | Nucleo    | Calicata | pH_12 | MO_12 | CDS_12 | N_12 | P_12  | K_12 | Ca_12 | Mg_12 | Fe_12  | Co_12 | Zn_12 | Mn_12 | S_12  | Arcilla_12 | Limo_12 | Arena_12        | Da_12 |
|----|-----------|----------|-------|-------|--------|------|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|-----------------|-------|
| 2  | Chinandeg | 96       | 6.20  | 0.82  | 0.48   | 0.04 | 9.70  | 0.20 | 3.00  | 0.40  | 153.20 | 1.80  | 1.40  | 0.80  | 2.30  | 3.56       | 7.72    | 88.72           | 1.49  |
| 3  | Chinandeg | 119      | 6.30  | 1.74  | 1.01   | 0.09 | 1.30  | 0.30 | 13.30 | 6.40  | 177.00 | 13.80 | 1.50  | 6.90  | 2.90  | 26.84      | 31.28   | Área de trazado |       |
| 4  | Chinandeg | 128      | 6.30  | 4.34  | 2.52   | 0.22 | 2.40  | 0.50 | 13.50 | 5.10  | 210.60 | 13.10 | 5.10  | 5.60  | 4.00  | 9.04       | 30.16   | 60.80           | 1.11  |
| 5  | Chinandeg | 129      | 6.50  | 3.59  | 2.09   | 0.18 | 12.50 | 1.30 | 13.70 | 3.70  | 181.80 | 9.70  | 7.30  | 7.10  | 4.30  | 9.04       | 29.80   | 61.16           | 1.19  |
| 6  | Chinandeg | 137      | 6.80  | 2.22  | 1.29   | 0.11 | 16.50 | 1.10 | 13.90 | 4.90  | 122.10 | 8.30  | 4.40  | 5.90  | 1.50  | 12.76      | 34.44   | 52.80           | 1.28  |
| 7  | Chinandeg | 149      | 6.50  | 2.44  | 1.42   | 0.12 | 18.10 | 0.80 | 18.30 | 5.40  | 144.00 | 11.20 | 3.20  | 6.70  | 4.30  | 26.12      | 34.72   | 39.16           | 1.27  |
| 8  | Chinandeg | 151      | 6.60  | 1.20  | 0.70   | 0.06 | 10.30 | 0.30 | 11.20 | 4.90  | 162.90 | 13.70 | 2.30  | 7.70  | 4.00  | 14.12      | 22.00   | 63.88           | 1.17  |
| 9  | Chinandeg | 154      | 6.40  | 0.34  | 0.20   | 0.02 | 6.60  | 0.20 | 2.40  | 0.70  | 58.70  | 1.30  | 0.80  | 0.70  | 9.60  | 3.12       | 1.00    | 95.88           | 1.24  |
| 10 | Chinandeg | 155      | 6.70  | 0.37  | 0.22   | 0.02 | 2.20  | 0.10 | 17.70 | 6.60  | 30.70  | 0.20  | 1.50  | 3.30  | 7.30  | 3.48       | 14.64   | 81.88           | 1.28  |
| 11 | Chinandeg | 162      | 6.20  | 2.52  | 1.47   | 0.13 | 3.60  | 0.90 | 12.50 | 4.60  | 151.10 | 12.50 | 2.30  | 6.10  | 4.80  | 13.60      | 33.80   | 52.60           | 1.22  |
| 12 | El Sauce  | 55       | 6.50  | 0.90  | 0.52   | 0.05 | 6.20  | 0.40 | 9.70  | 4.10  | 130.60 | 4.90  | 1.00  | 5.70  | 3.50  | 42.04      | 27.72   | 30.24           | 1.48  |
| 13 | El Sauce  | 57       | 6.10  | 2.36  | 1.37   | 0.12 | 4.40  | 0.60 | 9.70  | 2.50  | 204.00 | 13.60 | 2.70  | 13.10 | 4.70  | 12.68      | 31.08   | 56.24           | 1.35  |
| 14 | El Sauce  | 63       | 6.10  | 1.17  | 0.68   | 0.06 | 1.00  | 0.30 | 13.80 | 4.70  | 83.70  | 7.00  | 1.00  | 8.90  | 8.50  | 26.68      | 29.80   | 43.52           | 1.26  |
| 15 | El Sauce  | 71       | 6.40  | 0.86  | 0.50   | 0.04 | 6.30  | 0.60 | 9.70  | 2.60  | 104.30 | 6.10  | 1.40  | 10.30 | 1.90  | 26.58      | 32.92   | 40.60           | 1.37  |
| 16 | El Sauce  | 74       | 5.60  | 4.63  | 2.69   | 0.23 | 1.70  | 0.90 | 4.40  | 1.40  | 215.00 | 6.80  | 1.40  | 1.60  | 8.80  | 2.56       | 25.56   | 71.88           | 0.97  |
| 17 | El Sauce  | 77       | 5.90  | 0.60  | 0.35   | 0.03 | 2.20  | 0.70 | 10.40 | 3.90  | 69.30  | 3.10  | 0.50  | 4.40  | 5.70  | 27.84      | 27.92   | 44.24           | 1.41  |
| 18 | El Sauce  | 78       | 6.20  | 0.90  | 0.52   | 0.05 | 4.50  | 0.50 | 8.00  | 2.20  | 123.50 | 10.60 | 0.60  | 11.60 | 4.40  | 25.20      | 32.56   | 42.24           | 1.42  |
| 19 | El Sauce  | 79       | 6.00  | 0.89  | 0.52   | 0.04 | 4.70  | 0.90 | 8.70  | 2.60  | 83.80  | 4.30  | 0.80  | 6.40  | 4.40  | 33.20      | 16.56   | 50.24           | 1.41  |
| 20 | El Sauce  | 165      | 6.00  | 1.48  | 0.86   | 0.07 | 2.70  | 0.40 | 3.30  | 1.40  | 114.40 | 4.00  | 0.90  | 14.10 | 10.30 | 19.28      | 28.92   | 51.80           | 1.32  |
| 21 | El Sauce  | 171      | 6.10  | 2.27  | 1.32   | 0.11 | 4.30  | 1.00 | 5.10  | 1.40  | 190.50 | 5.10  | 1.90  | 4.20  | 3.60  | 13.00      | 18.92   | 68.08           | 1.42  |
| 22 | Nandaime  | 7        | 6.60  | 1.93  | 1.12   | 0.10 | 2.60  | 0.80 | 14.90 | 8.00  | 137.20 | 16.20 | 2.00  | 10.70 | 9.30  | 31.20      | 34.56   | 34.24           | 1.22  |
| 23 | Nandaime  | 10       | 6.80  | 1.95  | 1.13   | 0.10 | 1.80  | 0.80 | 18.30 | 9.60  | 119.60 | 14.30 | 1.40  | 9.40  | 10.00 | 31.20      | 36.56   | 32.24           | 1.32  |
| 24 | Nandaime  | 14       | 6.20  | 2.17  | 1.26   | 0.11 | 4.80  | 0.50 | 17.20 | 8.40  | 128.40 | 20.10 | 1.00  | 10.30 | 7.70  | 34.48      | 33.28   | 32.24           | 1.27  |
| 25 | Nandaime  | 21       | 6.10  | 2.58  | 1.50   | 0.13 | 3.90  | 0.50 | 14.30 | 8.50  | 137.70 | 22.70 | 4.20  | 24.60 | 15.00 | 16.32      | 31.08   | 52.60           | 1.25  |
| 26 | Nandaime  | 27       | 6.10  | 2.64  | 1.53   | 0.13 | 2.00  | 0.80 | 16.10 | 8.60  | 167.50 | 18.20 | 3.20  | 14.60 | 1.40  | 32.20      | 30.64   | 37.16           | 1.23  |
| 27 | Nandaime  | 34       | 6.30  | 3.35  | 1.95   | 0.17 | 7.30  | 0.40 | 16.10 | 5.30  | 105.80 | 19.40 | 1.80  | 22.40 | 7.60  | 22.28      | 28.20   | 49.52           | 1.17  |
| 28 | Nandaime  | 35       | 6.00  | 2.01  | 1.17   | 0.10 | 2.90  | 0.30 | 23.30 | 14.10 | 106.30 | 11.60 | 1.30  | 3.80  | 14.20 | 55.28      | 15.56   | 29.16           | 1.41  |
| 29 | Nandaime  | 37       | 6.10  | 1.76  | 1.02   | 0.09 | 2.00  | 0.80 | 15.00 | 6.60  | 97.70  | 6.40  | 1.30  | 7.30  | 7.50  | 48.28      | 26.56   | 25.16           | 1.38  |
| 30 | Nandaime  | 172      | 6.40  | 1.57  | 0.91   | 0.08 | 2.40  | 1.30 | 9.70  | 5.20  | 133.10 | 8.60  | 0.80  | 8.90  | 1.30  | 27.20      | 32.72   | 40.08           | 1.27  |
| 31 | Nandaime  | 174      | 6.50  | 2.37  | 1.38   | 0.12 | 16.10 | 1.60 | 12.40 | 4.20  | 146.70 | 15.20 | 5.00  | 7.90  | 3.10  | 29.20      | 37.72   | 33.08           | 1.23  |

Anexo 5. Base de datos del año 2012 y 2022-2023.

| 1  | Nucleo     | pH 22 | MO 22 | COS 22 | N 22 | P 22  | K 22 | Ca 22 | Mg 22 | Fe 22  | Co 22 | Zn 22 | Mn 22 | S 22  | Arcilla 22 | Limo 22 | Arena 22 | Da 22 |
|----|------------|-------|-------|--------|------|-------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------------|---------|----------|-------|
| 2  | Chinandega | 7.05  | 2.26  | 1.31   | 0.11 | 6.69  | 0.36 | 5.37  | 0.57  | 43.98  | 1.25  | 0.73  | 0.31  | 4.04  | 6.10       | 9.90    | 84.00    | 1.49  |
| 3  | Chinandega | 6.45  | 3.15  | 1.83   | 0.16 | 1.67  | 0.19 | 13.79 | 5.75  | 67.66  | 24.70 | 2.21  | 11.26 | 7.45  | 44.10      | 21.90   | 34.00    | 1.30  |
| 4  | Chinandega | 6.71  | 8.57  | 4.98   | 0.43 | 2.57  | 0.24 | 17.19 | 4.04  | 89.89  | 18.66 | 6.92  | 2.80  | 3.89  | 18.10      | 33.90   | 48.00    | 1.07  |
| 5  | Chinandega | 6.76  | 5.20  | 3.02   | 0.26 | 9.30  | 1.12 | 13.48 | 2.81  | 90.80  | 17.52 | 5.93  | 3.95  | 6.13  | 18.10      | 31.90   | 50.00    | 1.23  |
| 6  | Chinandega | 6.82  | 4.92  | 2.86   | 0.25 | 11.26 | 1.01 | 15.11 | 4.04  | 75.99  | 20.99 | 4.83  | 2.64  | 1.88  | 24.10      | 33.90   | 42.00    | 1.17  |
| 7  | Chinandega | 6.79  | 3.41  | 1.98   | 0.17 | 4.90  | 0.43 | 18.47 | 6.49  | 65.70  | 18.32 | 3.23  | 4.05  | 3.75  | 26.10      | 27.90   | 46.00    | 1.27  |
| 8  | Chinandega | 6.77  | 2.10  | 1.22   | 0.11 | 30.74 | 0.26 | 10.23 | 3.73  | 83.51  | 13.95 | 3.20  | 8.71  | 3.33  | 16.10      | 23.90   | 60.00    | 1.34  |
| 9  | Chinandega | 6.59  | 2.35  | 1.37   | 0.12 | 16.72 | 0.23 | 4.99  | 0.84  | 76.76  | 5.53  | 1.51  | 0.73  | 6.82  | 6.10       | 17.90   | 76.00    | 1.54  |
| 10 | Chinandega | 6.64  | 3.66  | 2.13   | 0.18 | 1.72  | 0.26 | 15.42 | 4.37  | 71.37  | 10.59 | 1.63  | 2.80  | 2.76  | 16.10      | 17.90   | 66.00    | 1.26  |
| 11 | Chinandega | 7.00  | 5.69  | 3.31   | 0.28 | 5.89  | 0.73 | 16.72 | 2.99  | 68.00  | 16.62 | 3.31  | 12.01 | 2.79  | 22.10      | 27.90   | 50.00    | 1.18  |
| 12 | El Sauce   | 5.80  | 3.24  | 1.88   | 0.16 | 5.30  | 0.35 | 9.57  | 3.33  | 312.64 | 11.73 | 2.11  | 32.63 | 13.02 | 35.30      | 40.00   | 24.70    | 1.30  |
| 13 | El Sauce   | 5.90  | 2.08  | 1.21   | 0.10 | 2.24  | 0.29 | 5.27  | 0.84  | 243.44 | 9.10  | 1.15  | 18.64 | 3.41  | 23.30      | 30.00   | 46.70    | 1.38  |
| 14 | El Sauce   | 6.80  | 5.21  | 3.03   | 0.26 | 0.51  | 0.60 | 7.79  | 0.58  | 64.01  | 19.26 | 4.70  | 41.85 | 4.60  | 30.00      | 33.30   | 36.70    | 1.24  |
| 15 | El Sauce   | 6.60  | 3.28  | 1.91   | 0.16 | 1.03  | 0.62 | 7.23  | 0.23  | 199.02 | 5.59  | 1.27  | 8.52  | 5.27  | 15.30      | 32.00   | 52.70    | 1.38  |
| 16 | El Sauce   | 6.10  | 6.38  | 3.71   | 0.32 | 0.28  | 0.39 | 4.71  | 0.48  | 89.75  | 7.58  | 0.77  | 3.79  | 10.22 | 14.00      | 29.30   | 56.70    | 1.14  |
| 17 | El Sauce   | 5.90  | 1.06  | 0.62   | 0.05 | 1.16  | 0.35 | 3.56  | 0.18  | 65.89  | 3.83  | 0.54  | 7.94  | 6.16  | 13.30      | 18.00   | 68.70    | 1.56  |
| 18 | El Sauce   | 6.90  | 3.57  | 2.08   | 0.18 | 2.37  | 0.98 | 9.69  | 1.42  | 70.46  | 12.28 | 2.79  | 8.20  | 4.73  | 25.30      | 30.00   | 44.70    | 1.29  |
| 19 | El Sauce   | 6.60  | 3.05  | 1.77   | 0.15 | 2.54  | 0.77 | 10.37 | 1.16  | 246.49 | 15.54 | 1.99  | 7.89  | 4.32  | 33.30      | 38.00   | 28.70    | 1.29  |
| 20 | El Sauce   | 6.80  | 3.13  | 1.82   | 0.16 | 0.56  | 0.56 | 7.67  | 0.28  | 82.60  | 7.89  | 0.60  | 5.49  | 4.18  | 27.30      | 28.00   | 44.70    | 1.34  |
| 21 | El Sauce   | 6.80  | 3.47  | 2.02   | 0.17 | 0.18  | 0.53 | 4.20  | 0.51  | 52.35  | 5.18  | 1.32  | 12.41 | 8.19  | 12.00      | 19.30   | 68.70    | 1.43  |
| 22 | Nandaime   | 6.40  | 3.43  | 1.99   | 0.17 | 0.06  | 0.88 | 11.55 | 5.54  | 74.47  | 26.02 | 2.77  | 51.93 | 5.70  | 38.10      | 36.90   | 25.00    | 1.26  |
| 23 | Nandaime   | 6.80  | 3.81  | 2.22   | 0.19 | 0.04  | 0.79 | 14.89 | 7.53  | 69.71  | 19.95 | 1.21  | 18.85 | 6.74  | 42.10      | 28.90   | 29.00    | 1.19  |
| 24 | Nandaime   | 6.30  | 2.96  | 1.72   | 0.15 | 1.11  | 0.21 | 16.83 | 9.67  | 49.44  | 28.75 | 0.40  | 12.08 | 5.89  | 58.10      | 20.90   | 21.00    | 1.25  |
| 25 | Nandaime   | 6.50  | 2.38  | 1.38   | 0.12 | 1.21  | 0.29 | 16.13 | 9.68  | 47.92  | 26.36 | 1.55  | 22.75 | 4.73  | 46.10      | 24.90   | 29.00    | 1.26  |
| 26 | Nandaime   | 6.50  | 3.32  | 1.93   | 0.17 | 0.95  | 0.24 | 13.09 | 7.56  | 133.07 | 27.03 | 1.73  | 39.55 | 8.17  | 48.10      | 24.90   | 27.00    | 1.22  |
| 27 | Nandaime   | 7.20  | 10.03 | 5.83   | 0.50 | 2.26  | 0.35 | 27.10 | 10.34 | 20.42  | 15.76 | 4.72  | 48.72 | 10.60 | 30.10      | 20.90   | 49.00    | 1.15  |
| 28 | Nandaime   | 6.10  | 2.38  | 1.38   | 0.12 | 1.02  | 0.10 | 23.28 | 15.54 | 49.67  | 22.29 | 0.57  | 11.25 | 6.92  | 64.10      | 12.90   | 23.00    | 1.30  |
| 29 | Nandaime   | 6.10  | 2.64  | 1.53   | 0.13 | 0.99  | 0.67 | 15.07 | 3.84  | 80.81  | 15.04 | 1.41  | 15.42 | 6.00  | 53.30      | 20.00   | 26.70    | 1.23  |
| 30 | Nandaime   | 6.10  | 2.82  | 1.64   | 0.14 | 1.06  | 0.69 | 10.62 | 5.32  | 152.46 | 18.35 | 0.63  | 77.28 | 6.90  | 44.10      | 26.90   | 29.00    | 1.33  |
| 31 | Nandaime   | 6.30  | 2.88  | 1.67   | 0.14 | 19.48 | 0.98 | 11.63 | 3.11  | 181.59 | 23.77 | 2.19  | 37.62 | 5.68  | 34.10      | 34.90   | 31.00    | 1.24  |

Anexo 5. Base de datos del año 2012 y 2022-2023.

