

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE IHCAFE EN SAN
NICOLÁS, SANTA BÁRBARA**

POR:

MARLON ARIEL TÁBORA BAIDE

TESIS

**PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AGRÓNOMO



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, CA.

JUNIO, 2016

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO DEL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE IHCAFE EN SAN NICOLÁS,
SANTA BÁRBARA

POR:

MARLON ARIEL TÁBORA BAIDE

M.Sc. JOSÉ TRINIDAD REYES SANDOVAL

Asesor principal

M.Sc. JUAN RAFAEL LÓPEZ, Ing. ARNOLD PINEDA

Asesores adjuntos, IHCAFE

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS, C.A.

JUNIO, 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

Reunidos en el Departamento Académico de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Agricultura: **M. Sc. JOSÉ TRINIDAD REYES, M. Sc. RAMÓN LEÓN CANACA, M. Sc. OSCAR IVAN FERREIRA**, Miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

El estudiante **MARLON ARIEL TÁBORA BAIDE** del IV Año de la Carrera de Ingeniería Agronómica presentó su informe.

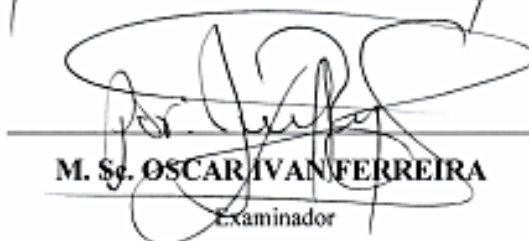
“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL SUELO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE IHCAFE EN SAN NICOLÁS, SANTA BARBARA”

El cual a criterio de los examinadores, Aprobó este requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olanchó, a los veintitres días del mes de junio del año dos mil dieciséis.


M. Sc. JOSÉ TRINIDAD REYES
Consejero Principal


M. Sc. RAMÓN LEÓN CANACA
Examinador


M. Sc. OSCAR IVAN FERREIRA
Examinador

DEDICATORIA

A **JEHOVÁ DIOS ETERNO**, quien no desfallece, ni se fatiga con cansancio, y su entendimiento no hay quien lo supere.

A mis **Padres**, que merecen ser enorgullecidos por su ardua lucha y anhelo de verme como gran profesional que se supere de la misma manera como ellos.

A mis hermanos menores **ELVIS OMAR Y EDIN JOSÉ**, por ser mi inspiración al saber que tienen parte de su superación futura dependiente de mi labor profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi **SEÑOR TODOPODEROSO**, por darme el sustento de vida para seguir luchando y trascender al éxito.

A mi **Madre** Rosa Nolvía por su gran amor y apoyo incondicional y a mi **Padre** Edin Gaspar por su apoyo moral.

A mi **Familia** por brindarme consejos y motivarme a luchar durante toda mi trayectoria académica.

A mis **Hermanos de habitación** Bueni, Pollo, Cholo y SEPA por compartir todo tipo de circunstancias como hermanos aprendiendo a convivir de la mejor manera.

A mi **Gran amigo y hermano** José Cardoza con quien compartimos todos los momentos que nos hacen ser excelentes humanos

A mis **Amigos de clases** en especial a Rudy, Herlon, Karen, Valenzuela, Marta y María Mercedes por brindarnos momentos de alegría, diversión y apoyo mutuo en cualquier circunstancia.

A **Gissel Beltrán** quien en mi última estadía me ayudó a tomar decisiones y me acompañó en pocos pero grandes momentos inolvidables que marcarán mi vida, enseñándome qué significa amar a una mujer.

A **Mis hermanos espirituales y Ministerio Amigos de Jesús** porque juntamente con ellos encontré descanso en ciertas etapas de mi vida académica.

Al **Prof. Raúl Pineda** alcalde de San Francisco de Ojuera, por el apoyo financiero y ser el camino para llegar a mi educación superior.

Al **IHCAFE** por permitirme desarrollar mis conocimientos en el ámbito de la investigación. Al Ing. Juan López por instruirme a la realización de mi tesis; a los ingenieros Arnold Pineda y Alex Reyes, y al resto del personal del CIC-JVE por su apoyo. Y cómo no, agradecer grandemente al Ing. Juan Gabriel por su gran apoyo intelectual que me ayudó a iniciar mi trabajo de investigación.

A **Mis asesores** M.Sc. José Trinidad Reyes por su gran disposición en el compartir sus conocimientos invaluable hacia mi persona que conllevó a la afinidad de una metodología pre y post desarrollo de mi tesis. Al M.Sc. Oscar Ferreira y M.Sc Ramón León Canaca Calderón, por ser fundamentales en la correlación de ideas enfocadas en la realización del trabajo de investigación.

A la **Universidad Nacional de Agricultura**, por conceder la sugestiva oportunidad de formarme como profesional en tan preponderante institución, ampararme como mi segundo hogar donde fortaleció mis valores, permitiéndome conocer buenos amigos y también me ayudó en mi vida como persona.

CONTENIDO

	Pag.
ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 El suelo	4
3.2 Propiedades del suelo.....	5
3.2.1 Propiedades físicas del suelo	5
3.2.1.1Textura del suelo	5
3.2.1.2 Estructura del suelo	6
3.2.1.3 Densidad aparente del suelo	6
3.2.1.4 Porosidad del suelo.....	7
3.2.1.5 Color del suelo.....	7

3.2.1.6 Profundidad efectiva.....	7
3.2.1.7 Infiltración	8
3.2.2 Propiedades químicas del suelo	8
3.2.2.1 Materia orgánica de los suelos.....	8
3.2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico de los suelos	9
3.2.2.3 pH del suelo	9
3.2.2.4 Nitrógeno en el suelo.....	10
3.2.2.5 Fósforo del suelo	10
3.2.2.6 Potasio del suelo	11
3.2.2.7 Calcio.....	12
3.2.2.8 Magnesio del suelo	12
3.3 Agricultura de precisión.....	14
IV. MATERIALES Y MÉTODO.....	15
4.1. Descripción del sitio de investigación	15
4.2 Materiales y equipo.....	16
4.3 Método de investigación.....	16
4.3.1 Fase uno	16
4.3.2 Fase dos (toma de muestra).....	17
5.3.2.1 Pasos para la toma de muestra de suelo.....	18
4.3.3 Fase tres.....	19
4.4 Determinación de propiedades físicas	19
4.4.1 Determinación de estructura	19
4.4.3 Determinación de profundidad efectiva	20
4.4.4 Determinación de transición y forma de horizontes	20
4.5 Determinación de propiedades químicas	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23

5.1 Propiedades químicas del suelo determinadas en el laboratorio.....	23
5.1.1 Niveles de pH.....	23
5.1.2 Niveles de materia orgánica.....	24
5.1.3 Niveles de nitrógeno	26
5.1.4 Niveles de fósforo	27
5.1.5 Niveles de potasio	28
5.1.6 Niveles de calcio	30
5.1.7 Niveles de magnesio	31
5.1.8 Niveles de aluminio.....	32
5.1.9 Niveles de zinc	34
5.1.10 Niveles de manganeso.....	35
5.1.11 Niveles de hierro	36
5.1.12 Niveles de cobre.....	36
5.2 Análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC)	38
5.3 Determinación de costos por fertilización	41
5.4 Propiedades físicas del suelo por CATENA.....	47
5.4.1 Correlación pendiente-profundidad efectiva en el suelo del CIC-JVE.....	47
5.4.2 Horizontes de transición.....	48
5.4.3 Forma de los límites entre horizontes	49
VI. CONCLUSIONES.....	50
VII. RECOMENDACIONES	51
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS	55

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Representación de la textura del suelo de acuerdo a su tamaño	6
Cuadro 2. Área constituida por las variedades de café presentes en el CIC-JVE	15
Cuadro 3. Coordenadas UTM de los puntos céntricos para las submuestras de suelo	17
Cuadro 4. CATENA para análisis del perfil del suelo según la pendiente	18
Cuadro 5. Profundidad efectiva según USDA	20
Cuadro 6. Clasificación de los horizontes de transición	21
Cuadro 7. Clasificación de los límites entre horizontes	21
Cuadro 8. Valores para la interpretación del análisis de suelo utilizada por el Laboratorio Químico Agrícola del IHCAFE	22
Cuadro 9. Recomendación por elemento en suelos entre 0-20 cm de profundidad	41
Cuadro 10. Recomendación por elemento en los suelos entre 20-40 cm de profundidad ..	42
Cuadro 11. Dosificación de fórmula 12-24-12 en los suelo del CIC-JVE	42
Cuadro 12. Recomendación de fórmula 12-24-12 en los suelo entre 0-20 cm de profundidad	43
Cuadro 13. Recomendación de fórmula 12-24-12 en suelo entre 20-40 cm de profundidad	43
Cuadro 14. Dosificación de Nitrato de Amonio en los suelos del CIC-JVE	44
Cuadro 15. Dosis recomendada de Nitrato de Amonio en los suelo entre 0-20 cm de profundidad.....	44
Cuadro 16. Dosis recomendada de Nitrato de Amonio en los suelos entre 20-40 cm de profundidad.....	45
Cuadro 17. Dosificación de KCl granulado en los suelos del CIC-JVE	45
Cuadro 18. Dosis recomendada de KCl en los suelo entre 0-20 cm de profundidad.....	46
Cuadro 19. Dosis recomendada de KCl en los suelo entre 20-40 cm de profundidad.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del CIC-JVE en Los Linderos, San Nicolás	16
Figura 2. Barreno de tornillo	19
Figura 3. Bolsas de campo identificadas	19
Figura 4. Porcentaje de MO a profundidad entre 0-20 cm en el suelo del CIC-JVE	25
Figura 5. Porcentaje de MO a profundidad entre 20-40 cm en el suelo del CIC-JVE	25
Figura 6. Nitrógeno disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm ...	26
Figura 7. Nitrógeno disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm .	27
Figura 8. Fósforo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm.....	28
Figura 9. Potasio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm	29
Figura 10. Potasio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm ...	29
Figura 11. Calcio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm.....	30
Figura 12. Calcio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm.....	31
Figura 13. Magnesio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm .	32
Figura 14. Magnesio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm	32
Figura 15. Aluminio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm..	33
Figura 16. Aluminio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm	33
Figura 17. Zinc disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm.....	34
Figura 18. Zinc disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm.....	35
Figura 19. Cobre disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm	37
Figura 20. Cobre disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm	37
Figura 21. ACP de las propiedades químicas del suelo del CIC-JVE.....	38
Figura 22. AC de las propiedades químicas del suelo del CIC-JVE	39
Figura 23. Parcelas asociadas según el ACP y AC	40
Figura 24. Pendientes y profundidad efectiva en el sitio 1.....	47
Figura 25. Pendientes y profundidad efectiva en el sitio 2.....	48
Figura 26. Horizontes de transición en cada perfil de suelo.....	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa sobre puntos de submuestras por cuadrícula	56
Anexo 2. Barreno para toma de suelo a dos profundidades	57
Anexo 3. Etiquetado de bolsas para muestra de suelo	57
Anexo 4. Hojas del análisis de las muestras de suelo por el LQA.....	57
Anexo 5. Formato descriptivo de cada muestra de suelo	58
Anexo 6. Resultados del análisis de suelo entre 0-20 cm de profundidad	59
Anexo 7. Resultados del análisis de suelo entre 20-40 cm de profundidad	60
Anexo 8. pH en el suelo entre 0-20 cm de profundidad del CIC-JVE	61
Anexo 9. pH en el suelo entre 20-40 cm de profundidad del CIC-JVE	61
Anexo 10. Fósforo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm ...	62
Anexo 11. Manganeseo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm	62
Anexo 12. Manganeseo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm	63
Anexo 13. Hierro disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm	63
Anexo 14. Hierro disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm	64
Anexo 15. Análisis de componentes principales: autovalores y autovectores.	64
Anexo 16. Perfil del suelo en el sitio 1	65
Anexo 17. Perfil del suelo en el sitio 2	65
Anexo 18. Monolitos sobre el perfil del suelo en el sitio 1.....	66
Anexo 19. Monolitos sobre el perfil del suelo en el sitio 2.....	66
Anexo 20. Toposecuencia en el suelo del CIC-JVE	67

Tábora Baide, MA. 2016. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo del Centro de Investigación y Capacitación de IHCAFE en San Nicolás, Santa Bárbara. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. 80 p.

RESUMEN

El trabajo se realizó en el CIC-JVE en Los Linderos, San Nicolás, Santa Bárbara, Honduras, con el objetivo de implementar el programa de Agricultura de Precisión a través de la caracterización fisicoquímica de los suelos en cultivo de café. Se generó un mapa de toda la finca determinando que cuenta con 16 mz para dividirla en cuadrículas de 1 mz y localizar 7 puntos de submuestra registrando las coordenadas XY. Posteriormente se recolectaron 50 muestras compuestas de 1 lb cada una ya que en cada punto se extrajo muestras entre 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad para análisis químico por parte del LQA del IHCAFE. Se construyeron cinco calicatas en sitios denominados según pendiente en Summit (0%), Backslope (45-85%), Footslope (19%) y Toeslope (16%) para determinar profundidad efectiva, estructura, potencia y forma del límite de los horizontes. Entre los resultados del LQA mostraron que los suelos del CIC-JVE cuentan con pH en estado bajo (<5.5); MO en estado bajo (0-4%) y medio (4.1-10%); N en estado bajo (<0.2 ppm) y medio (0.2-0.5 ppm); P en estado bajo (<10 ppm) y medio (10-20 ppm); K en estado bajo (<0.25 meq/100g), medio (0.25-0.4 meq/100g) y alto (>0.4 meq/100g); Ca en estado bajo (<4 meq/100g) y medio (4-25 meq/100g); Mg en estado bajo (<1 meq/100g) y medio (1-5 meq/100g); Al en estado bajo (<0.5 meq/100g), medio (0.5-1.5 meq/100g) y alto (>0.5) (0-20 cm), estado medio y alto (20-40 cm). A través del análisis de las muestras de suelo el LQA brinda las recomendaciones de elementos (N, P, K, Mg y Zinc) en libras por manzana por año para decidir el plan de fertilización. Aunque el cultivo de café sea tolerante a estas condiciones, es indispensable pensar que lo mejor es sacarle provecho en mayor productividad con el manejo adecuado y el menor costo de producción referente a la nutrición de las plantas de manera precisa para mitigar problemas socioeconómicos en nuestro país.

Palabras claves: Agricultura de precisión, Caracterización fisicoquímica, Suelo, Café.

I. INTRODUCCIÓN

El café en la actualidad es el producto de mayor importancia económica para las exportaciones de Honduras, representándose con un valor para el país de 795,176,202.70 dólares permaneciendo en el 6^o lugar a nivel mundial. Sin lugar a dudas a pesar de bajar en cuanto al año anterior esta importante cifra contribuye con la estabilidad financiera del país, obteniéndose una participación del 25.1% en el total de los ingresos por exportación de los principales productos agrícolas. En cuanto al PIB agrícola, el café tiene una participación del 34.8% y de 4.8% en el PIB Nacional (IHCAFE 2013).

Según IHCAFE (2013) en el país el 98% del área destinada a la caficultura está bajo sombra, un hecho importante en el manejo agronómico que está siendo adoptado por aproximadamente más de 110 mil familias caficultoras. Sin embargo, al igual que otros cultivos, muchos caficultores carecen de precisar sobre un manejo apropiado del suelo para prevenir la degradación del mismo y así rehabilitar el potencial de los suelos degradados, y consecuentemente la reducción de gastos por fertilizantes químicos que conlleve al aumento de la producción (FAO, citado por Lovo *et al* 2013).

El uso de software y aparatos como el GPS (Global Positioning System) forman parte del avance tecnológico, siendo una herramienta importante en el estudio de los suelos para el análisis de información y elaboración de mapas sobre el uso actual y potencial (Velásquez citado por Lovo *et al* 2013). Además por la variabilidad espacial del suelo, el IHCAFE cuenta con un Laboratorio Químico Agrícola en la ciudad de San Pedro Sula en el cual se ofrece el servicio de análisis de suelos, y así brindar recomendaciones como herramienta útil para los productores para así realizar un programa de nutrición balanceada y oportuna de las fincas con el propósito de obtener mayor producción y reducir costos por el desperdicio de fertilizantes (IHCAFE 2012).

La importancia de realizar un muestreo adecuado sirve para diagnosticar el estado de un suelo partiendo con la obtención de porciones de suelo en un área homogénea o heterogénea, a fin de analizar sus propiedades físicas y químicas. Es necesario un muestreo representativo del suelo que garantice el reflejo preciso de la concentración para el parámetro de preocupación o de estudio en un momento dado, siempre y cuando se tomen las precauciones para la obtención, o sea, no contaminación e identificación correcta de muestras.

Este trabajo de investigación tiene el propósito de realizar un estudio a nivel de fincas caficultoras en la zona de Los Linderos que permitan obtener la información sobre las condiciones físicas y químicas del suelo. La generación de información servirá como base para la caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo siendo además una herramienta en la valoración y toma de decisiones futuras a cerca de plan de fertilización y riego como buen manejo para una agricultura sostenible y rentable (agricultura de precisión).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los suelos de productores dedicados a la caficultura en la zona de Linderos, Santa Bárbara

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar un mapa de identificación de las fincas cafetaleras para el posterior análisis de las propiedades fisicoquímicas de suelo
- Conocer la variabilidad espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo y estado de los cultivos de café
- Identificar a través de CATENA las características físicas tales como: profundidad efectiva, estructura, horizontes de transición y forma de los límites, nomenclatura
- Realizar un plan de fertilización tras el análisis de las propiedades químicas como ser: materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, zinc, manganeso, hierro y cobre

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El suelo

El termino suelo se deriva del latín *solum* que significa piso, puede definirse como la capa superficial de la corteza terrestre. Los suelos no son un medio inerte y estable, sino que se han alterado con el paso del tiempo para considerarse como formaciones geológicas naturales causadas por agentes atmosféricos (diversos climas) y seres vivos, lo cual justifica su continua evolución y, en consecuencia, su gran variedad. El suelo se distingue de la roca madre al proporcionar a las plantas un medio adecuado para el desarrollo de las raíces y la germinación de las semillas (Jiménez *et al.* citado por Pérez 2013).

Es uno de los recursos básicos que sustenta la vida a través del estado dinámico de sus propiedades como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular que constituyen así la salud del suelo para consolidarse como suelos productivos (Cruz, citado por Pérez 2013).

Además de estar compuesto de agua y aire, se compone de sustancias sólidas originadas de residuos vegetales, animales, y por qué no, de la desintegración de la roca madre para formar diferentes capas de suelo denominadas horizontes. El arreglo de los horizontes en el suelo se llama perfil edáfico, y están aproximadamente paralela a la superficie, con características producidas por los procesos de formación, la textura, el espesor, el color y la naturaleza química que determinan su calidad. Los niveles resultantes del proceso de formación de un suelo se clasifican en seis horizontes principales O, A, E, B, C, R (Miller 1994, Jaramillo 2001, citado por Cantera 2010).

3.2 Propiedades del suelo

Una propiedad física, química o biológica del suelo es aquella que caracteriza al suelo; por ejemplo, la composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, incluyendo la cubierta vegetal, el tiempo en que ha actuado la desintegración por agentes atmosféricos, por la topografía y los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Sposito 1989, citado por Cantera 2010).

La variabilidad de las propiedades del suelo es una condición inherente al mismo tiempo, debido a que hay intervención de varios procesos diferentes, controlados a su vez por factores de formación; como consecuencia una alta cantidad de suelos posibles. La variabilidad depende de la propiedad que se analice, siendo más variables las propiedades del suelo, en su condición natural que cuando es sometido al uso (Ovalles, citado por Alfaro 2014).

3.2.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son aquellas que reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y proporciona el agua a las plantas, así como las limitaciones para el crecimiento de raíces, emergencia de plántulas y el movimiento de agua dentro del perfil. La importancia de las propiedades físicas de un suelo es relevante porque, en gran medida, determinan el comportamiento químico del mismo y en última instancia su funcionamiento (Porta *et al.* citado por Alfaro 2014).

3.2.1.1 Textura del suelo

El suelo es una mezcla de partículas que se distribuyen por tamaño y forma haciendo referencia a proporciones relativas en porcentaje de arena limo y arcilla. Los sistemas de clasificación de partículas más conocidos y utilizados son, el propuesto por el Departamento

de Agricultura de Norteamérica (USDA) y el elaborado por la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo (ISSS) (Rucks *et al.* citado por Reyes 2014).

Cuadro 1. Representación de la textura del suelo de acuerdo a su tamaño

Fracción	Rango de diámetro de partículas (mm)	
	USDA	ISSS
Arena	0.05-2	0.02-2
Limo	0.002-0.05	0.002-0.02
Arcilla	<0.002	<0.002

Fuente: (Rucks *et al.* 2004)

3.2.1.2 Estructura del suelo

Es el grado de ordenamiento o arreglo espacial de fracciones granulométricas o componentes primarios (arena, limo y arcilla) y secundarios (agregado o unidad estructural) del suelo. Influye significativamente los regímenes de agua y aire de un suelo, como a su vez su arraigabilidad. Existen microestructuras que son visibles con microscopio y macroestructuras diferenciadas a simple vista que se pueden clasificar en granulares, bloques angulares y subangulares, prismáticas, columnar y laminar (Francke *et al.* citado por Tejada 2014).

3.2.1.3 Densidad aparente del suelo

Se define como la masa por unidad de volumen de suelo seco a 105 °C expresada en g/cm³. Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, o sea, se refleja la porosidad total del suelo. Los valores varían entre 0.1 g/cm³ o menos en los suelos orgánicos, 1.6-1.8 g/cm³ en suelos arenosos y 2.0 g/cm³ en suelos muy compactos, siendo este último un indicador de ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida y cambios indeseables en la infiltración de agua (FAO, citado por Velásquez 2013).

3.2.1.4 Porosidad del suelo

Es el volumen de aire y agua contenidos en una unidad de volumen de suelo que depende del agregado de las partículas sólidas. Existen macroporos (entre partículas) con un diámetro mayor a 30 micras que permiten la libre circulación del agua y aire. Los microporos que miden menos de 30 micras, tienen la función de retención de agua que es generalmente utilizada por las plantas (FAO, citado por Velásquez 2013).

Según FHIA, citado por Velásquez (2013), la porosidad puede variar con la cantidad de materia orgánica, profundidad, textura, estructura y sistema de producción agrícola. Los suelos finos o arcillosos tienen un mayor porcentaje de porosidad; caso contrario con los suelos arenosos que los poros son más grandes pero en menor cantidad.

3.2.1.5 Color del suelo

Los suelos en general tienen color oscuro que se aclara a medida se profundiza. El color está determinado por los revestimientos de partículas muy finas de materia orgánica (oscuro), material calcáreo (blanco), óxidos de hierro y manganeso (pardos, rojizos y amarillentos) indicando que los suelos son bien aireados y no se encharcan. Los colores grises y manchados de verde azulado, indican que los suelos permanecen mucho tiempo encharcados. En las regiones húmedas, cuando los suelos son muy claros indican baja productividad y las plantas no se desarrollan de manera eficaz (MADR 2002).

3.2.1.6 Profundidad efectiva

Es la profundidad hasta dónde llegan sin tropiezo las raíces de las plantas en busca de alimento y agua. Dentro de los obstáculos o limitaciones que enfrentan las raíces están: las capas endurecidas, piedras o rocas, agua y sales dañinas. Además un suelo debe tener condiciones favorables para recibir, almacenar y hacer aprovechable el agua para las plantas a una profundidad de por lo menos un metro. En un suelo profundo las plantas resisten mejor

la sequía, ya que a mayor profundidad mayor capacidad de retención de humedad y la planta puede usar los nutrientes almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si estos están al alcance de las raíces (Barbosa, citado por Reyes 2014).

3.2.1.7 Infiltración

Se define como el proceso por el cual el agua se incrementa a una velocidad uniforme, que tarde o temprano llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber el agua por la superficie hasta la llegada a sus capas inferiores y, el exceso de agua acumulada sobre la superficie escurre si las condiciones de pendiente lo permiten. Muchos factores del suelo como las características del perfil afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración (Vélez *et al.* Citado por Ruiz y Gutiérrez 2004).

3.2.2 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son aquellas que inciden sobre la relación suelo-planta, calidad del agua, capacidad de amortiguamiento del suelo, disponibilidad de nutrientes y microorganismos presentes. Algunas de ellas son el pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad de absorción de fosfatos y contenidos de nutrientes. El análisis de estas propiedades permiten reconocer ciertas cualidades, cuando se provocan cambios o reacciones que alteren su composición y acción de los mismos al grado de que muchos elementos presentes en el suelo pueden causar toxicidad o simplemente tener efectos antagónicos entre ellos (Doran y Parkin, citado por Alfaro 2014).

3.2.2.1 Materia orgánica de los suelos

Según la recomendación de la Soil Science of América, la materia orgánica la define como: "Fracción orgánica del suelo que incluye residuo vegetales y animales en diferentes estados

de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes de suelo" (Fasbender *et al.* citado por Castillo 2005).

La materia orgánica del suelo tiene muchas funciones importantes, ayuda a unir entre sí las partículas finas para formar unidades estructurales (agregados del suelo), mejora la aireación del suelo y la percolación y el movimiento descendente del agua, los ácidos orgánicos, que son productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo, solubilizan el fósforo y otros nutrientes del suelo, y los hacen asimilable para los cultivos (FAO, citado por Castillo 2005).

3.2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico de los suelos

Según INTA/ FAO (2001), la capacidad de intercambio de cationes trata de unas de las propiedades químicas más importantes, y que muchos autores y estudiosos la identifican con la fertilidad del suelo. El mecanismo de intercambio se lleva a cabo a través de las partículas más pequeñas del suelo que son las arcillas minerales y el humus, en estado de disolución parcial en el agua del suelo, que se conocen como complejo arcillo- húmico. La capacidad de intercambio de cationes se define como, la capacidad que tiene un suelo de retener y aportar los nutrientes de cargas positivas, llamados cationes.

3.2.2.3 pH del suelo

Es una medida de la acidez o alcalinidad, por lo general se considera como una propiedad muy importante ya que tiende a estar correlacionado con otras propiedades, tales como el grado de saturación de base. La determinación de la concentración de iones hidronios (H^+) e iones hidróxido (OH^-) permite medir la acidez o alcalinidad. Si hay mayor concentración de iones H^+ , se dice que la relación es ácida pero si hay predominancia de iones OH^- , la relación es alcalina. La relación será neutra cuando la concentración de iones H^+ sea igual a la de iones OH^- (Enríquez y Cabalceta, citado por Castillo 2005).

El pH, tiene un rango que va de 1 a 14 pH, los suelos con mejor rango para la agricultura están entre los 5.5 y 6.5 pH, para bosques se puede usar desde 3 hasta 8 pH, algunas plantas no resisten ambientes con muchas sales o pH mayores de 8, como los cítricos, sin embargo las palmeras como cocos son tolerantes (Watler y Thompson, citado por Castillo 2005)

3.2.2.4 Nitrógeno en el suelo

Según Plasencia y Corbella (2007), el N es uno de los elementos más ampliamente distribuidos en la naturaleza. Es muy dinámico: circula entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos. El átomo de N presenta diferentes estados de oxidación y en el pasaje entre ellos intervienen los organismos del suelo. Entre los elementos que las plantas toman del suelo, el N es el de mayor importancia cuantitativa. Y su deficiencias se puede presentar en todo tipo de suelo, manifestándose en los vegetales por la aparición de color amarillento en las hojas más viejas o color amarillo-verdoso con tendencia a la caída de las mismas

Los principales roles del N en la nutrición de las plantas son:

- Componente de la molécula de clorofila.
- Componente de los aminoácidos, unidad estructural de las proteínas.
- Componente de las moléculas de enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos.
- Esencial en la utilización de carbohidratos.
- Estimula el desarrollo y la actividad radicular.

3.2.2.5 Fósforo del suelo

Es un elemento fundamental absorbido por las plantas en forma de fosfatos mono y diácidos. A diferencia del nitrógeno y del azufre, que son otros elementos que se absorben en forma aniónica, el fósforo es un elemento poco móvil. Por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas es que debe ser considerado uno de los elementos más críticos. Aunque las plantas lo contienen en menor cantidad que el nitrógeno, potasio, y calcio, tiene como factor limitativo más importancia que el calcio y quizás más que el potasio.

Es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración, a diferencia del nitrógeno, que tiende a prolongar el crecimiento vegetativo. Cumple un rol plástico, al encontrarse en toda la planta, y especialmente en los tejidos jóvenes (interviniendo en la síntesis proteica y desarrollo radicular) y en órganos de reserva como semillas y tubérculos (formando parte de fosfolípidos y ácidos nucleicos. También cumple un rol metabólico, ya que desempeña un papel indispensable como acumulador de energía y combustible para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes al formar parte del adenosín trifosfato (ATP) (Sanzano s.f.)

3.2.2.6 Potasio del suelo

Es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del fósforo (o del azufre y por extensión del nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente, K^+ . A diferencia del nitrógeno y el fósforo, el potasio no ocasiona problemas ambientales cuando sale del sistema suelo.

Juega numerosos roles en la nutrición de plantas y animales, no está incorporado a la estructura de los compuestos orgánicos. En cambio, permanece en forma iónica en solución en la célula (K^+), o actúa como un activador para las enzimas celulares. Interviene en la síntesis y acumulación de hidratos de carbono y proteínas. Las plantas exigentes en K producen grandes cantidades de azúcares (remolacha, caña de azúcar, frutales, etc.). Influye en la tolerancia al frío y en la resistencia a la sequía. Mejora la calidad de las cosechas de granos y frutas. Además aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades (Sanzano s.f.)

3.2.2.7 Calcio

Juega un papel fundamental en la estructura del suelo siendo el catión que predomina en el complejo sorbente de un suelo que no sea ácido o que el aluminio sea el catión predominante. Cuando se presenta un suelo ácido, la recuperación del mismo será resuelta mediante la práctica conocida como encalado, que consiste en una aplicación de enmienda cálcica que reduce la acidez del suelo al enriquecer el contenido de calcio intercambiable en la partícula coloidal.

Los contenidos registrados constituyen 0.5-2% de materia seca para dicotiledóneas y 0.15 - 0.5% para monocotiledóneas. Se almacena en los tejidos como pectato de calcio siendo el mayor constituyente de la laminilla media. Participa en la elongación y división celular, permeabilidad de las membranas y activación de algunas enzimas críticas para el desarrollo. Además, al ser un catión poco móvil en la planta los síntomas de deficiencia se manifiestan en los puntos de crecimiento. Su deficiencia en el suelo aumenta la concentración de metales como Mg, Mn y Zn llegando a valores tóxicos que impiden el crecimiento del vegetal. (Guevara s.f.).

3.2.2.8 Magnesio del suelo

La principal fuente disponible para las plantas se encuentra en la forma intercambiable, como el Mg intercambiable es removido por las plantas y es factible de lavarse, este pool es repuesto a partir del Mg mineral por la meteorización de los minerales (como dolomita, hornblenda y serpentina). Algunos suelos también proveen al contenido de Mg intercambiable a partir de Mg que se encuentra en las interláminas de ciertas arcillas de tipo 2:1 (Mg lentamente disponible).

El Mg en las plantas se encuentra en contenidos menores que el Ca (0.15-0.75% de Materia seca). Éste nutriente forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis. Cumple un rol en la síntesis de aceites, proteínas

y la actividad de enzimática del metabolismo energético. Es más común la deficiencia de Mg que la de Ca, aun a niveles de pH apropiados. El síntoma de deficiencia más característico se ve como clorosis internerval en las hojas viejas, al ser un elemento móvil en la planta. Es muy común la deficiencia de Mg. en suelos arenosos o suelos de baja CIC (Guevara s.f.)

4.3 Variabilidad espacial del terreno

Existen tres maneras para medir la variabilidad espacial:

- Continúa, que analiza los mapas de rendimiento.
- Discreta, que realiza muestreo directo al suelo para posterior análisis.
- Percepción remota, mediante imágenes de satélite o fotografías aéreas.

En el método continuo, la variabilidad espacial guarda relación directa con el rendimiento, medida que tiene unidades de masa por unidad de área, lo que indica que solo se tiene en cuenta la cantidad y no la calidad por esto es necesario dentro de la agricultura manejar el conjunto rendimiento–calidad (Senay *et al.* 1998).

En la forma discreta se utilizan puntos de estudio dentro del terreno, escogidos de manera aleatoria para evitar que los datos estén sesgados, en dichos puntos se realiza las mediciones de las variables requeridas como propiedades fisicoquímicas del suelo. De esta manera se basa en un conocimiento previo del terreno para hacer un muestreo dirigido asegurando un número de muestras adecuado.

Para imágenes de satélite o fotografías aéreas, Senay *et al* (1998) menciona un método de estimación del estado de la fotosíntesis mediante el uso del infrarrojo, recolectando la información por medio de sensores digitales o películas fotográficas. También es posible determinar estados de crecimiento del cultivo y condiciones del suelo, ya que tiene una ventaja económica sin embargo los sensores digitales ofrecen una mayor precisión.

3.3 Agricultura de precisión

En el transcurso del tiempo nuestros caficultores han aprendido a manejar sus fincas de manera tan uniforme posible, conociendo aún que existen determinados factores influyentes en la productividad y calidad que varían en espacio de terreno o finca, así como también a través del tiempo. Pero cabe recalcar que en todo tiempo no tienen el adecuado acceso a información de las características o factores variantes de sus fincas para lograr una producción rentable y sostenible.

Considerando el aspecto nutricional en el café, se juega con un roll que vas más allá del simple suministro de fertilizantes en forma empírica y en descontrol. Es por tal razón la importancia de aplicar un adecuado sistema que erradique pérdidas en el uso de insumos agrícolas. Por lo que los productores se deben enfocar en aplicar una agricultura de precisión encabezada por la lotificación de sus fincas en áreas considerables que permitan conocer la variabilidad en los suelos y así proseguir en una agricultura de precisión más compleja.

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Descripción del sitio de investigación

La investigación se realizó durante los meses de Octubre a Enero de 2016 en el Centro de Investigación y Capacitación “José Virgilio Enamorado” (CIC-JVE) del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) ubicado en la comunidad de Los Linderos, Municipio de San Nicolás, Departamento de Santa Bárbara, Honduras C.A. Las temperaturas anuales promedio para esta zona son de 15.7 °C mínima y 24.8 °C máxima, humedad relativa del 88% con una precipitación anual de 1072 mm y una altitud de 1140 msnm (Paz 2012).

En esta investigación a través del Sistema de Información Geográfica (SIG), se determinó que el centro cuenta con aproximadamente 16.41 ha, en las que 11 ha son explotadas con café de diferentes variedades (Cuadro 2). Dicha región se ha caracterizado por el gran enfoque que ha tenido en la producción de café aportando directamente semillas de calidad a todos los productores de café, e indirectamente generando empleo a muchos habitantes de sus alrededores.

Cuadro 2. Área constituida por las variedades de café presentes en el CIC-JVE

VARIEDAD	ÁREA	
	ha	mz
Lempira	4.8	6.9
Parainema	2.8	3.1
Ovatá	0.5	0.7
Catuaí	0.3	0.4
IHCAFE 90	1.9	2.7
Icatú	0.4	0.5
Centramericano y Caciopea	0.07	0.1

Mezclas	0.9	1.4
TOTAL	11.6	15.8

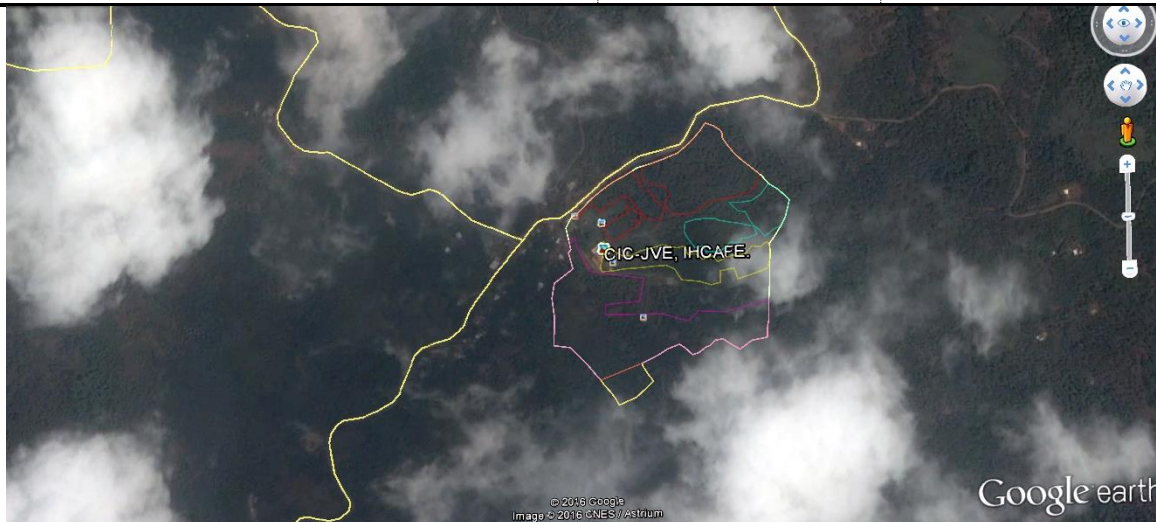


Figura 1. Localización del CIC-JVE en Los Linderos, San Nicolás

4.2 Materiales y equipo

Para el desarrollo, los materiales de campo contemplados a utilizar fueron, GPS, nivel A, cámara fotográfica, barreno, calculadora, cinta métrica, pala, piocha, azadón, etiquetas, lápiz, libreta de apuntes, bolsas, tamiz de 2.00 mm de diámetro, muestras de suelo, balanza analítica y el Sistema de Información Geográfica (SIG).

4.3 Método de investigación

El posicionamiento global y la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de los suelos cafetaleros de la zona de Linderos, San Nicolás, Santa Bárbara consistieron en la utilización del método de variabilidad espacial discreta, en tres fases.

4.3.1 Fase uno

Se localizó el área de estudio perteneciente al CIC-JVE delimitando su perímetro con el uso del navegador GPS y el Sistema de Información Geográfica y por consiguiente se determinó

que consta con aproximadamente 16.4 ha dividido en 7 lotes de cafeto. Además toda el área cultivada se dividió en cuadrículas o parcelas de 83 m * 83 m para obtener un total de 25 cuadrículas o parcelas, y por medio del programa Google Earth, en cada parcela se posicionaron 6 submuestras en un radio de 15 m y 1 submuestra en el centro anotando sus coordenadas UTM (Cuadro 3 y Anexo 1).

Cuadro 3. Coordenadas UTM de los puntos céntricos para las submuestras de suelo

Cuadrícula	X	Y
1	16347580	1650703
2	16347625	1650758
3	16347697	1650806
4	16347761	1650851
5	16347815	1650800
6	16347741	1650758
7	16347663	1650721
8	16347774	1650684
9	16347876	1650720
10	16347899	1650754
11	16347847	1650624
12	16347766	1650613
13	16347684	1650637

Cuadrícula	X	Y
14	16347601	1650624
15	16347503	1650631
16	16347503	1650556
17	16347592	1650573
18	16347679	1650556
19	16347835	1650565
20	16347832	1650495
21	16347743	1650483
22	16347660	1650481
23	16347579	1650482
24	16347496	1650478
25	16347612	1650383

4.3.2 Fase dos (toma de muestra)

Una vez teniendo las coordenadas XY de las submuestras de suelo, se realizó la recolección de estas para la posterior homogenización y así obtener una muestra compuesta por parcela, enviándolas al Laboratorio Químico Agrícola para determinar el pH, MO, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, acidez intercambiable, capacidad de intercambio catiónico (CIC), aluminio, zinc, manganeso, hierro y cobre.

Además se hicieron 5 calicatas distribuidas en dos sitios o pendientes representativas del CIC-JVE según CATENA (Cuadro 4) para determinar nomenclatura y transición de horizontes, profundidad efectiva, estructura, y forma de límite de horizontes. La dimensión de cada calicata es 1 m largo x 1m ancho y 1.20 m de profundidad, asimismo se elaboraron un monolito para cada calicata (Anexo 18 y 19).

Cuadro 4. CATENA para análisis del perfil del suelo según la pendiente

Sitio	Descripción	Ilustración
Summit	Parte alta o borde	
Backslope	Parte de mayor pendiente	
Footslope	Fin de gran pendiente	
Toeslope	Parte baja plana	

5.3.2.1 Pasos para la toma de muestra de suelo

- 1) Identificar 25 bolsas con los siguientes datos: N° de cuadrícula, Profundidad (0 a 20 cm) (Figura 3).
- 2) Las otras 25 bolsas identificarlas anotando: N° de cuadrícula, Profundidad (20 a 40 cm) (Figura 3).
- 3) Al definir los 7 puntos de muestreo (por cuadrícula) y sus respectivas coordenadas UTM, se utilizó el navegador GPS en “MODO RUTA o DESTINO” para llegar a cada punto de submuestra.
- 4) Con un barreno se tomaron las submuestra de 0 a 20 cm de profundidad y se vertieron en sus respectivas bolsas identificadas. De la misma manera y en el mismo punto de muestreo se tomaron las muestras de 20 a 40 cm (Anexo 2).
- 5) De modo que en cada bolsa se vertieron 7 submuestra de suelo, se prosiguió a la homogenización para obtener una muestra compuesta.

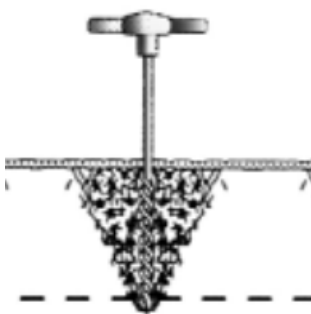


Figura 2. Barreno de tornillo



Figura 3. Bolsas de campo identificadas

4.3.3 Fase tres

La recepción y preparación de muestras, para su posterior análisis en laboratorio e interpretación de resultados se realizaron con el siguiente protocolo:

- 1) Etiquetar las bolsas anotando: Nombre del lote, número de cuadrícula y profundidad (Anexo3).
- 2) Colar las muestras de suelo en un tamiz de 2mm de diámetro.
- 3) Verter el suelo tamizado en su respectiva bolsa.
- 4) Pesar una libra de suelo por bolsa.
- 5) Sellar las bolsas.
- 6) Llenar el formato descriptivo de cada muestra de suelo y enviarlas al laboratorio del IHCAFE (Anexo 5).

4.4 Determinación de propiedades físicas

4.4.1 Determinación de estructura

La determinación de los tipos de estructura se hizo observando la morfología, mediante el tamaño, forma y ubicación. Los análisis estructurales se hicieron a nivel de campo al tacto y se determinó mediante la comparación con cartillas estructurales.

4.4.3 Determinación de profundidad efectiva

Para determinar la profundidad efectiva se construyeron cinco calicatas en todo el CIC-JVE con la ayuda de una pala, barra y piocha, hasta una profundidad de un metro con veinte centímetros, luego se midió con una cinta métrica en centímetros la profundidad a que se encuentra la última raíz y utilizando la taxonomía que proporciona USDA se identifican las clases de suelo.

Cuadro 5. Profundidad efectiva según USDA

Clase	Profundidad en cm
Muy superficial	< 25
Superficial	25–50
Moderadamente profunda	50-100
Profunda	100-150
Muy profunda	>150

4.4.4 Determinación de transición y forma de horizontes

Los horizontes de transición son llamados así porque son los que limitan un horizonte subyacente del otro suprayacente, o sea que, estas transiciones constituyen el pasaje de un horizonte a otro, constituyendo en el perfil del suelo una porción medible y clasificada (Cuadro 6).

Además se destaca que los horizontes tiene un punto de rose nombrado como límite, el cual al observar el perfil del suelo se puede apreciar las formas determinadas de estos límites entre horizonte que también pueden ser clasificadas (Cuadro 7).

Cuadro 6. Clasificación de los horizontes de transición

H_z de transición	Descripción
Adrupto	Si el ancho del límite es de unos 2.5 cm
Claro	Si el ancho del límite es entre 2.5-6.5 cm
Gradual	Si el ancho del límite es entre 6.5-12.5 cm
Difuso	Si el ancho del límite es más de 12.5 cm

Fuente: Escalone s.f.

Cuadro 7. Clasificación de los límites entre horizontes

Límite	Descripción
Suave	Si es casi un plano
Ondulado	Si presenta concavidades más anchas que profundas
Irregular	Si presenta concavidades menos anchas y más profundas
Quebrado	Si ciertas partes del límite están interrumpidas

Fuente: Escalone s.f.

4.5 Determinación de propiedades químicas

Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio Químico Agrícola del IHCAFE. Los análisis químicos de los elementos como fósforo, potasio, hierro, zinc, cobre y manganeso se realizaron utilizando la solución extractora Melish 1 y para Ca, Mg y Aluminio la extracción con KCl 1 Normal. La materia orgánica se analizó por el método de Walkley-Black y el pH se determinó en agua en una relación 1:2.5.

Cuadro 8. Valores para la interpretación del análisis de suelo utilizada por el Laboratorio Químico Agrícola del IHCAFE

Características		Niveles		
Propiedades	Unidades	Bajo	Medio	Alto
pH		<5.5	5.5 - 6.5	>6.5
MO	%	0 - 4	4.1 – 10	>10
N	5% de MO ppm	0-0.2	0.2-0.5	>0.5
P	ppm	<10	10 - 20	>20
K	meq/100 g	<0.25	0.25 – 0.40	>0.40
Ca	meq/100 g	<4.0	4.0 - 25	>25
Mg	meq/100 g	<1	1.0 – 5.0	>5.0
Al	meq/100 g	<0.5	0.5 – 1.5	>1.5
Fe	ppm	<10	10 - 100	>100
Cu	ppm	<2.0	2.0 - 20	>20
Zn	ppm	<4.0	4.0 – 5.0	>5.0
Mn	ppm	<5.0	5.0 - 50	>50
S. AI	%	<25	25 - 60	>60
K/CICE	%	<4.0	4.0 – 5.0	>5.0
Ca/CICE	%	<40	40 - 60	>60
Mg/ CICE	%	<12	12 - 15	>15
Ca/Mg		<2.0	2.0 - 5.0	>5.0
Ca/K		<2.0	5.0 - 25	>25
Mg/K		<2.5	2.5 - 15	>15
Ca+Mg/K		<10	10 - 40	>40
Ca+Mg+K		<5	5 - 25	>25

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se obtuvieron en un proceso de cuatro fases; de las cuales, tres fases se explicaron anteriormente en la metodología; considerándose la cuarta fase, la redacción y análisis de los resultados de las muestras de suelo brindadas por el Laboratorio Químico Agrícola del IHCAFE (Anexo 4, 6 y 7).

5.1 Propiedades químicas del suelo determinadas en el laboratorio

5.1.1 Niveles de pH

El rango óptimo de pH para el café es entre 5.5 a 6.5, por ende se demuestra que todas las parcelas a profundidad entre 0 a 20 cm se encuentra en estado “Bajo”, o sea menor a 5.5 que va desde un valor mínimo de 3.6 para la parcela 5 a un máximo igual a 5.22 en la parcela 14, asimismo la parcela 3 tiene un valor medio con 4.14 (Anexo 8). En comparación con los valores de pH en el suelo entre 20 a 40 cm de profundidad, se determina que en las mismas parcelas (5 y 14) hay valores mínimo de 3.6 y máximo de 4.63 respectivamente, pero el valor medio cambia a la parcela 11 con un pH de 4.01 (Anexo 9).

Esto representa suelos ácidos que hablando químicamente puede afectar la CICE a través del % de Saturación de Bases (SB) y el % de Saturación de Aluminio (S Al), conllevando a la ineficiente adsorción de elementos y la presencia de aluminio en forma tóxica para las plantas. Y dentro del aspecto biológico, pH menores a 5.5 promueven la existencia de microorganismos débiles en la mineralización de Materia Orgánica afectando a la vez el ciclo del Nitrógeno. Además es importante en estos casos reducir el uso indiscriminado de compuestos nitrogenados sintéticos (IHCAFE 2014).

Algunas de las fluctuaciones de pH ocurren durante las diferentes estaciones del año, por ejemplo durante el verano el pH de los suelos minerales tiende a disminuir sobre todo bajo cultivo, debido a los ácidos producidos. En invierno y primavera se observa un aumento del pH, seguramente a causa de las actividades bióticas. Como resultado, la influencia de la alcalinización de la solución tenderá a aumentar el pH. Las bacterias y los actinomicetos funcionan mejor en suelos minerales con pH intermedios y elevados, siendo su actividad muy reducida cuando el pH desciende por debajo de 5.5 ya que las condiciones en nutrientes son desfavorables y se disminuye la asimilación del fósforo (Porta *et al.* citado por Cantera 2010).

5.1.2 Niveles de materia orgánica

Entre 0-20 cm de profundidad el 44% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo” (0-4 %) de MO y el 56% en estado “Medio” (4.1-10%). Donde el porcentaje mínimo pertenece a la parcela 23, un porcentaje medio en la parcela 21 y como máximo en la parcela 7 (Figura 4). Mientras que en los suelos a una profundidad entre 20-40cm el 88% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo” y tan solamente 12% están en estado “Medio”, donde la parcela 8 posee un porcentaje mínimo, seguido de la parcela 3 y la parcela 24 como máximo (Figura 5).

A medida que el contenido de MO se disminuye, el suelo por consiguiente pierde la capacidad amortiguadora para eludir la presencia de Al y la acción tóxica del mismo, acompañado de la reducción en el contenido de Nitrógeno verdaderamente disponible y otros macro y micro elementos necesarios para las plantas. Lógicamente cuando los suelos son cultivados se produce una rápida caída de la MO seguida por una declinación más lenta hasta un nuevo estado estable donde se va a depender del clima, manejo del suelo y del suelo en sí (Álvarez y Lavado, citado por Rozas 2012).

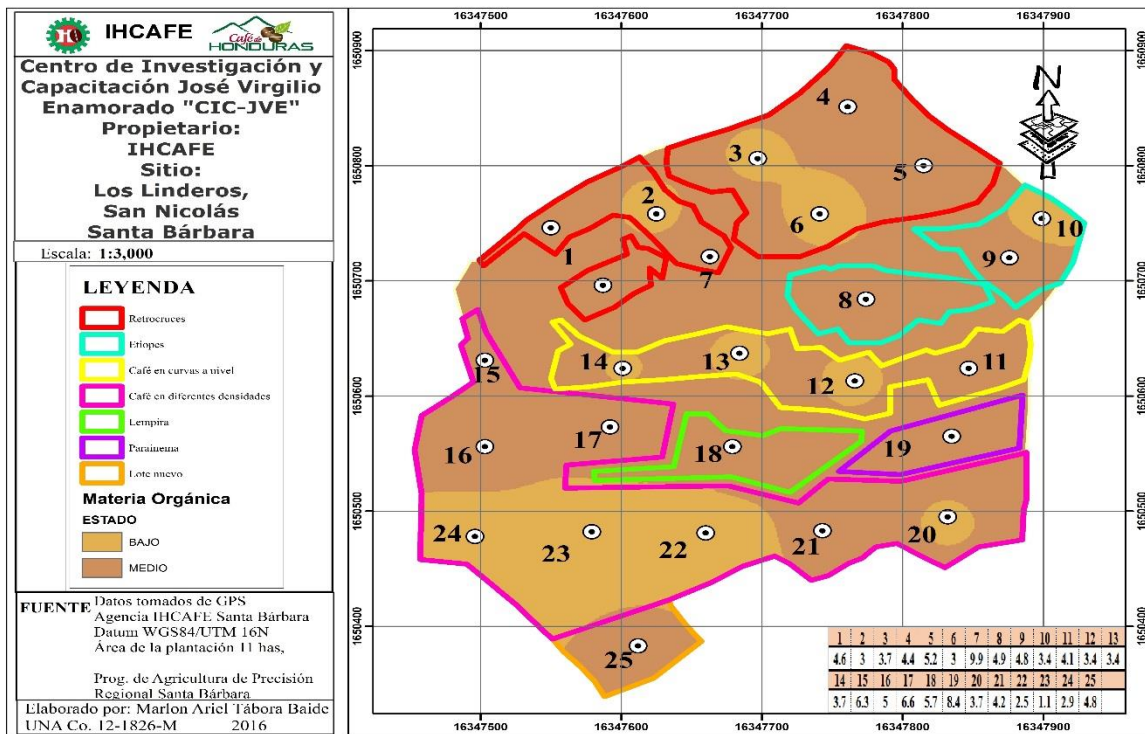


Figura 4. Porcentaje de MO a profundidad entre 0-20 cm en el suelo del CIC-JVE

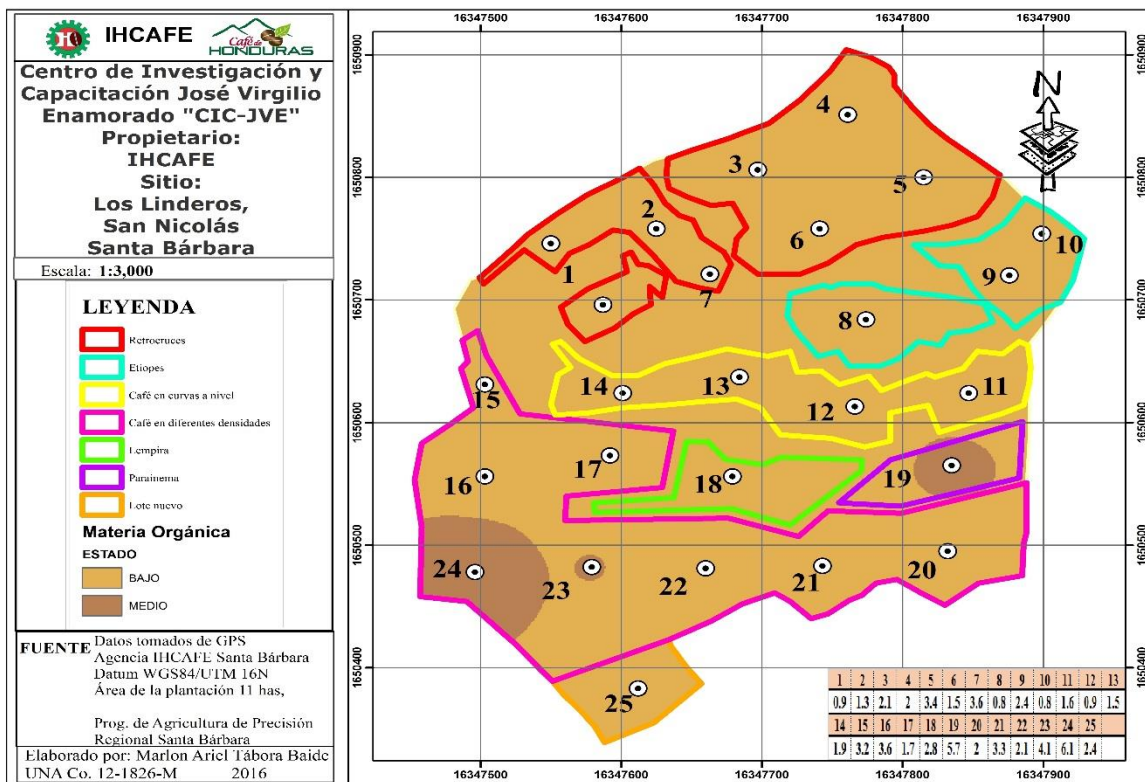


Figura 5. Porcentaje de MO a profundidad entre 20-40 cm en el suelo del CIC-JVE

5.1.3 Niveles de nitrógeno

De manera que el nitrógeno disponible equivale al 5% en ppm de la MO, se puede aclarar que dentro de las dos profundidades de muestreo el nitrógeno presenta un estado similar a la MO. Donde a profundidad entre 0-20 cm, la parcela 7 presenta un valor máximo de nitrógeno descendiendo a una media y un mínimo dentro de las parcela 21 y 23 respectivamente (Figura 6). Referente al nitrógeno contenido entre 20-40 cm de profundidad, el valor máximo está en la parcela 24, el medio para la parcela 3 hasta un valor mínimo de nitrógeno en la parcela 10 (Figura 7).

Está claro que aparte de la presencia del material vegetativo caducifolio en el cultivo, una alta proporción del N se puede derivar de la materia orgánica proveniente de otras fuentes, tal caso se manifiesta en sistema café-leguminosa. La hojarasca proveniente de la leguminosa podría ser la principal fuente del N orgánico al suelo ya que el aportado por la hojarasca del café, es muy baja (Mogollón *et al.* 1997).

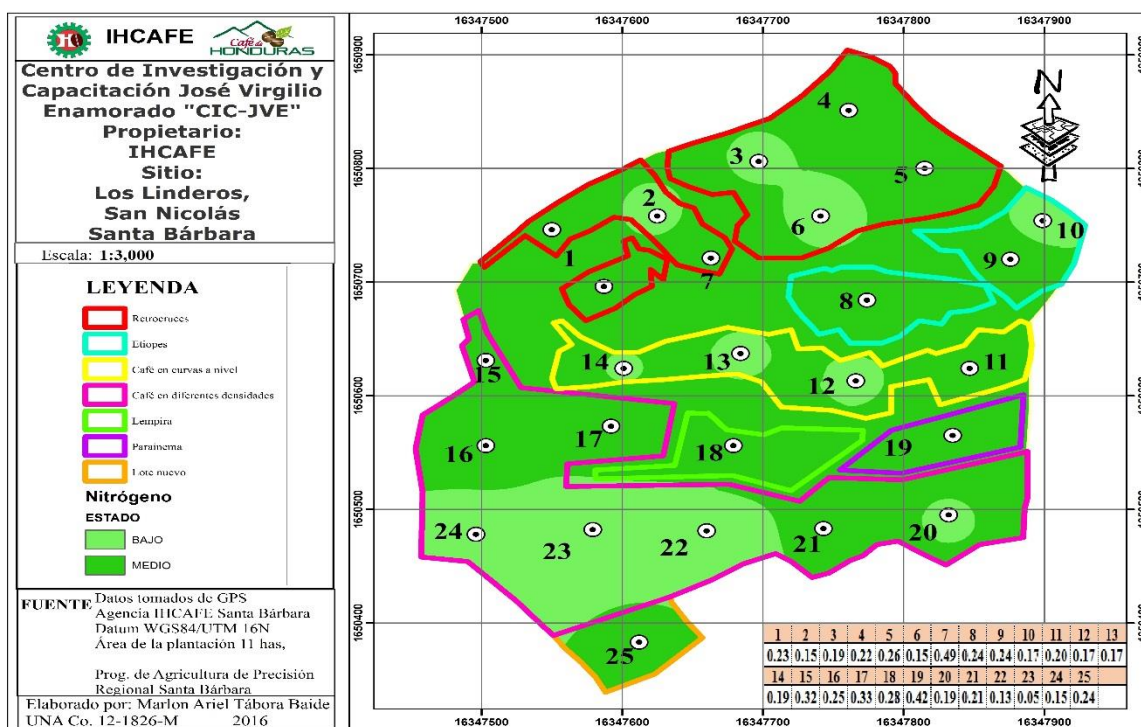


Figura 6. Nitrógeno disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

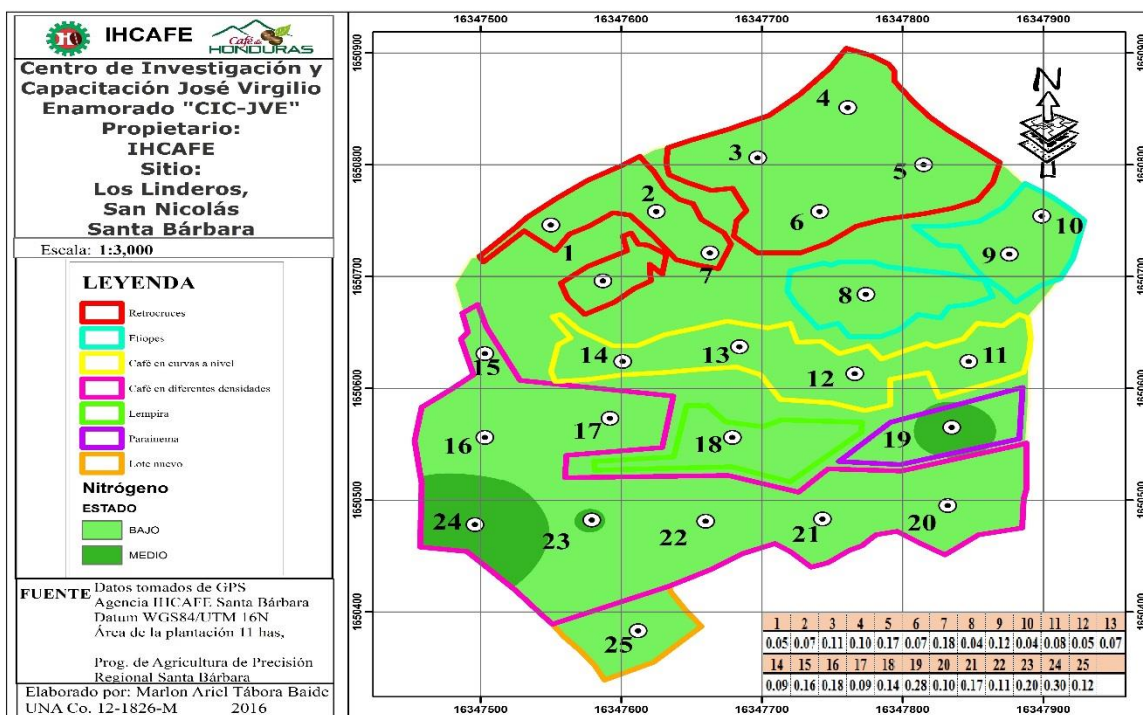


Figura 7. Nitrógeno disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.4 Niveles de fósforo

El fósforo aún juega un rol muy importante para los cultivos ya establecidos al adelantar la maduración por el hecho de encontrarse en toda la planta, y especialmente en los tejidos jóvenes y en órganos de reserva. A demás por formar parte del metabolismo al ser acumulador de energía, los suelos deben aportar los niveles adecuados de fósforo destinado para el cultivo de café oscilando entre 10-20 ppm.

Se muestra que la cantidad de fósforo entre 0-20 cm de profundidad en cada parcela, el 16% se encuentran en estado “Medio” (10-20 ppm) y el 84% de las parcelas están en estado “Bajo” (<10 ppm). La parcela 24 contiene un nivel mínimo de 0.61 ppm de fósforo seguido de una media y máxima por las parcelas 5 y 7 con 5.72 y 11.11 ppm respectivamente (Figura 8). Mientras que los suelos de estas parcelas entre 20-40 cm de profundidad se encuentran en estado “Bajo” que va desde 0.37 ppm en la parcela 16 como mínimo hasta un máximo de

8.27 ppm en la parcela 10 y un valor medio igual a 2.36 ppm perteneciente a la parcela 11 (Anexo 10).

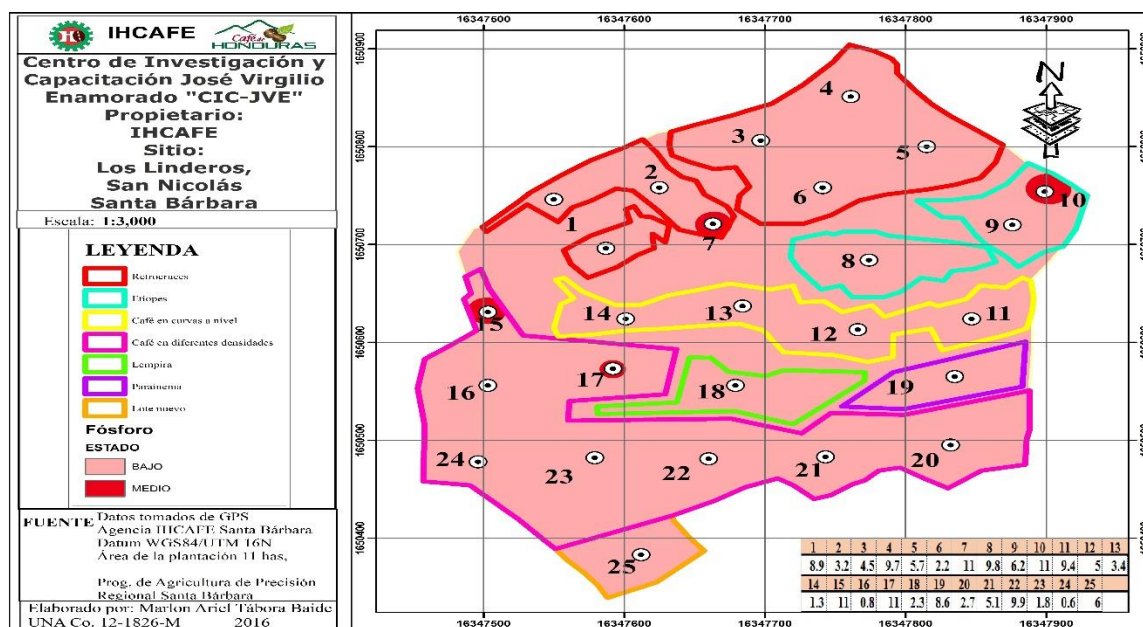


Figura 8. Fósforo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

5.1.5 Niveles de potasio

Los niveles de potasio a profundidad entre 0-20 cm, el 20% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo” (<0.25 meq/100 g), el 44% en estado “Medio” ($0.25-0.40$ meq/100 g) y el 36% en estado “Alto” (>0.40 meq/100 g) con valores mínimo en la parcela 16 a un máximo en la parcela 13 (Figura 9). En cambio entre 20-40 cm de profundidad, el 72% se encuentra en estado “Bajo”, 20% en estado “Medio” y 8% en estado “Alto” con un valor mínimo en la parcela 16 al máximo en la parcela 15 (Figura 10).

Existe la razón que los suelos del CIC-JVE son franco arcillosos que, según DESCO (2012), la cantidad de potasio en los suelos está en función de la liberación al estar localizado alrededor de las partículas de arcilla ayudando a la formación de la parte vegetativa y transporte de carbohidratos, otorgando a la vez tolerancia a enfermedades y a condiciones de

estrés tales como sequías y heladas. Sin embargo se determina que el nivel de potasio se disminuye a profundidades entre 20-40 cm por motivos de ser suelos viejos y meteorizados. Observando su deficiencia en hojas viejas (quemazón de los bordes y ápices), que conlleva a la poca floración y menor número de frutos por nudo.

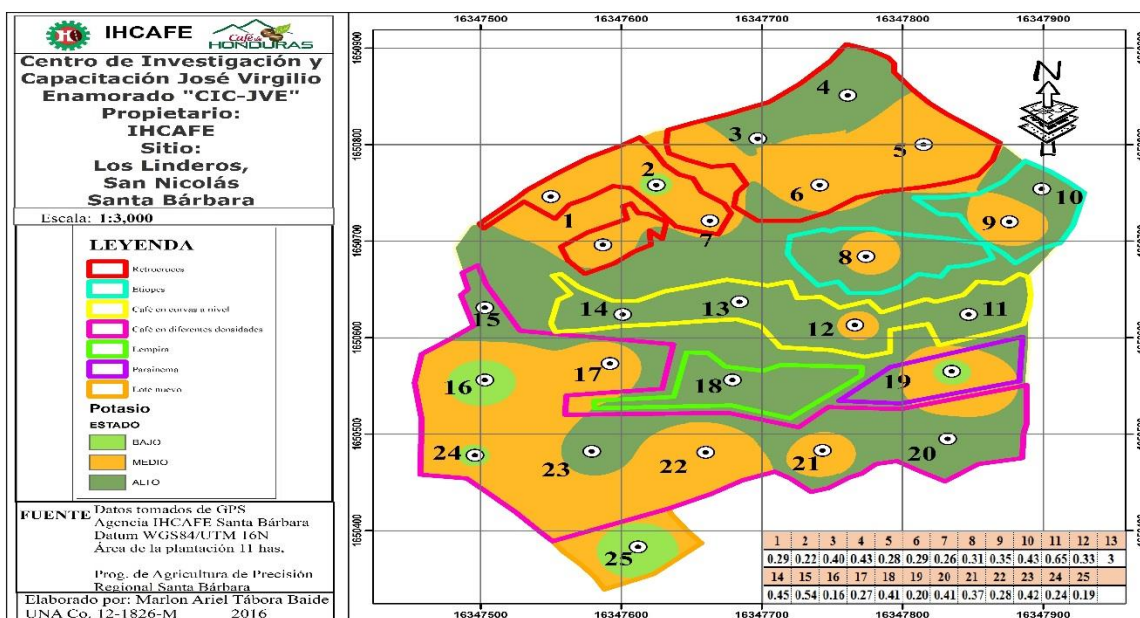


Figura 9. Potasio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

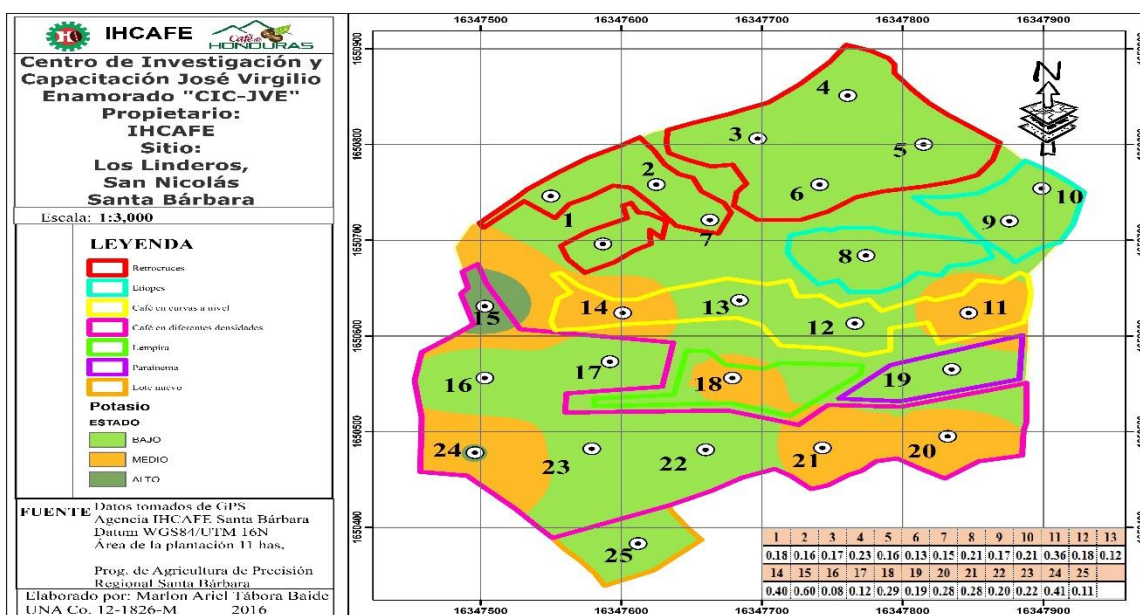


Figura 10. Potasio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.6 Niveles de calcio

Se demuestra que el 40% de los suelos entre 0-20 cm de profundidad se encuentra en estado “Bajo” (<4.0 meq/100 g) y el 60% en estado “Medio” (4.0-25 meq/100 g) con valor mínimo en la parcela 5, una media en la parcela 21 y un máximo en la parcela 9 (Figura 11). Para profundidades entre 20-40 cm, el 80% en estado “Bajo” y 20% en estado “Medio” con valor mínimo en la parcela 5, una media en cuadrícula 3 y un máximo en la parcela 14 (Figura 12).

Según IHCAFE (2014), la reducción de este elemento está relacionado a suelos viejos con baja fertilidad natural y generalmente coincide con una fuerte acidez del suelo. También su deficiencia impide que se eleven los niveles de K y Mg para que estos sean desplazados a otras partes del suelo y así aumentar el pH. Inicialmente la deficiencia del Ca en la planta de café se manifiesta con síntomas de carencia en las hojas nuevas, observándose un área clorótica que se extiende del borde de la hoja hacia el centro y provoca generalmente una deformación convexa de la lámina foliar y un sistema radicular muy pobre.

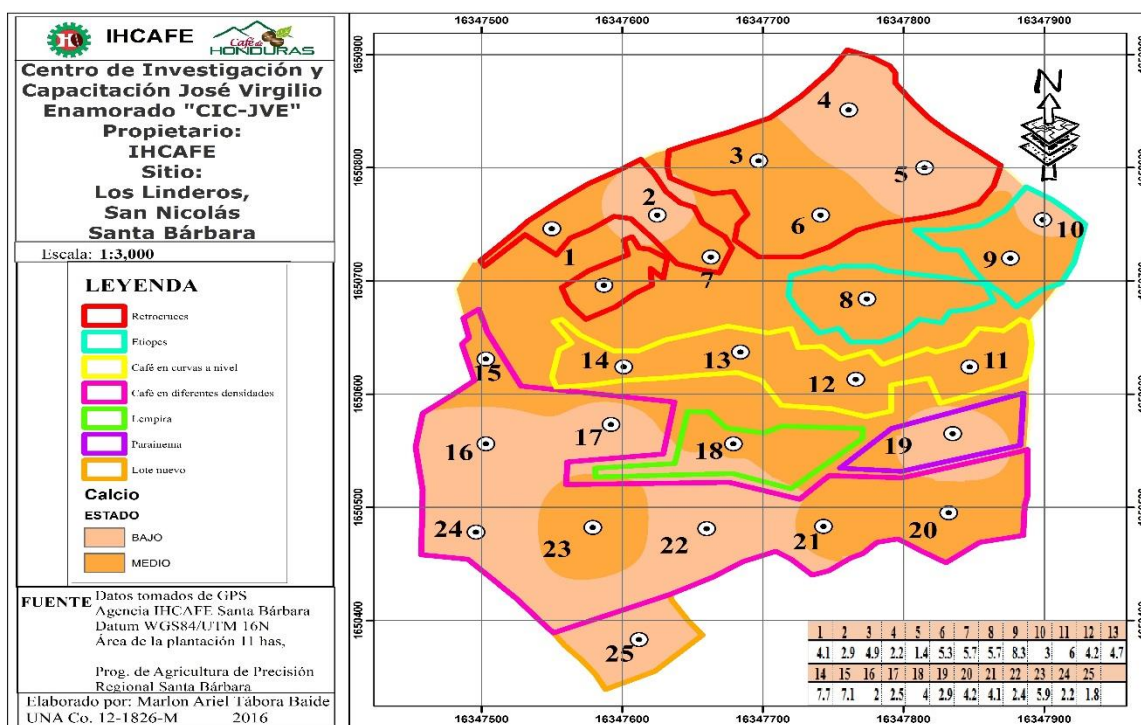


Figura 11. Calcio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

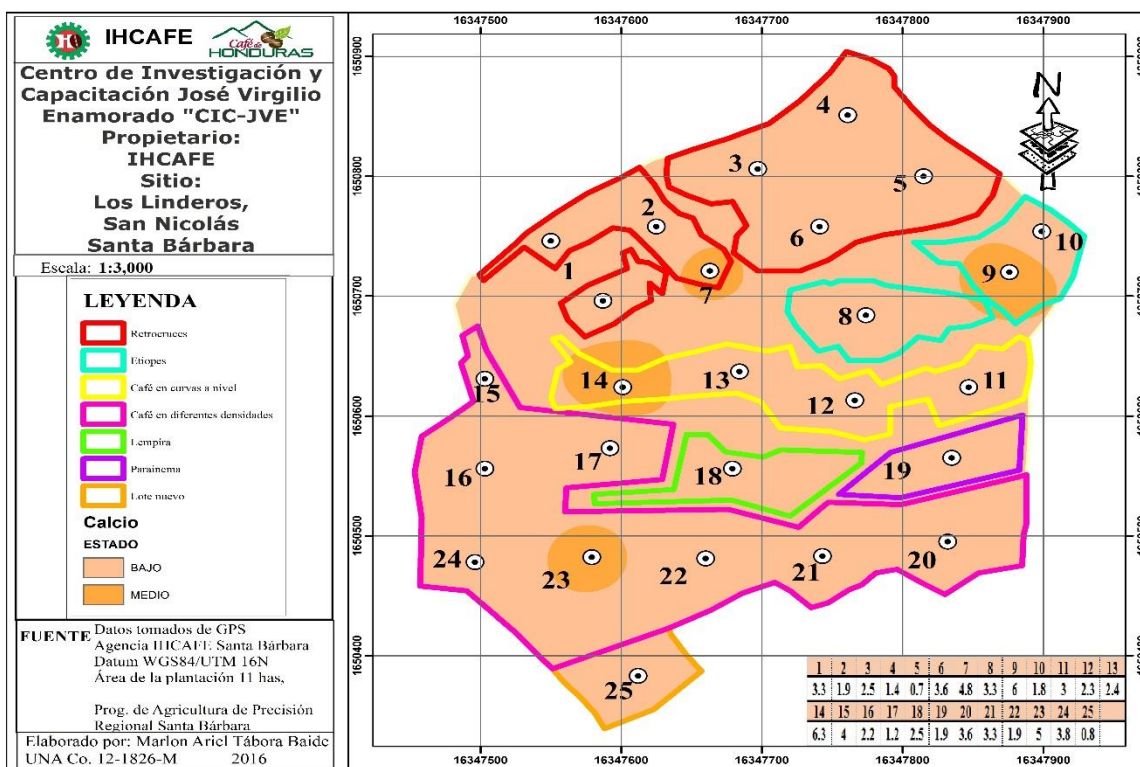


Figura 12. Calcio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.7 Niveles de magnesio

Los suelos del CIC-JVE a profundidades entre 0-20 cm contienen 28% de las parcelas en estado “Bajo” (<1.0 meq/100 g) y 72% en estado “Medio” (1.0-5.0 meq/100 g) donde la parcela 23 tiene un nivel máximo, la parcela 12 una media y un valor mínimo en la parcela 5 (Figura 13). En cambio entre 20-40 cm de profundidad, el 56% de las parcelas están en estado “Bajo” y el 44% en estado “Medio” teniendo valores mínimo y máximo en las parcelas 6 y 23 respectivamente con una media en la parcela 18 (Figura 14).

El Mg en estos suelos tiende a disminuir generalmente por la presencia de pH bajo y por el antagonismo que este tiene hacia el K cuando la absorción de este último aumenta, y así cantidades significativas de Mg se pierden durante ese proceso metabólico. Se puede anexar que las sequías reducen el transporte del Mg hacia las raíces provocando caída acentuada de las hojas (OIRSA 2001).

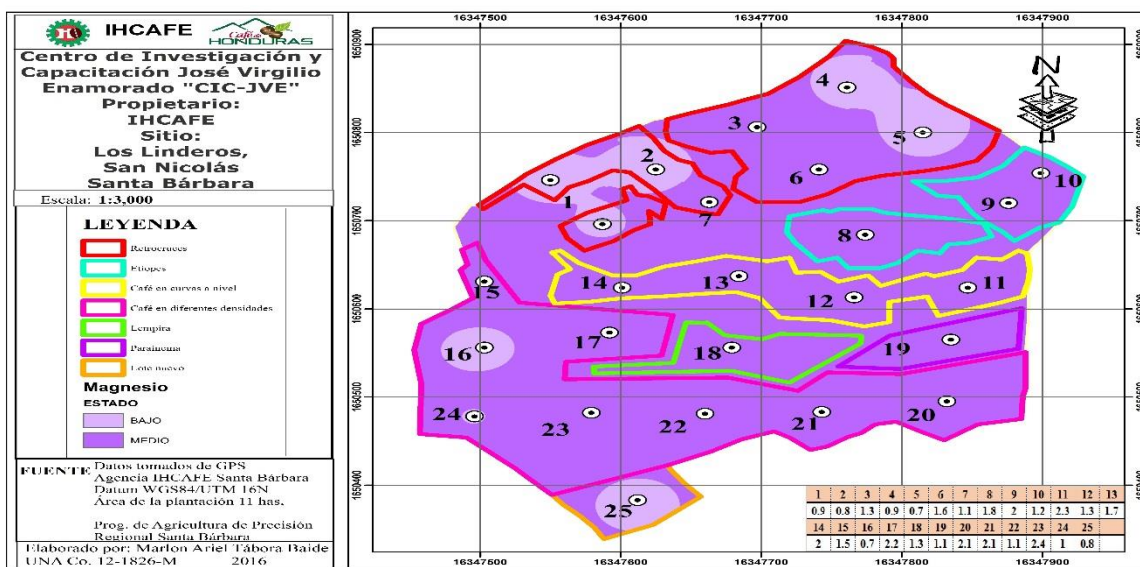


Figura 13. Magnesio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

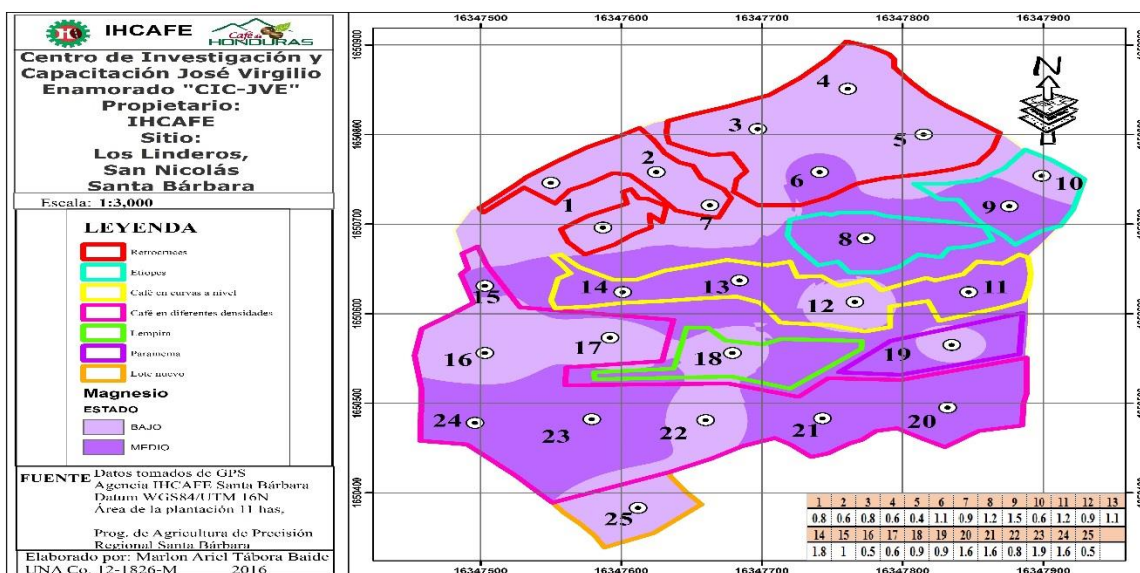


Figura 14. Magnesio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.8 Niveles de aluminio

Los niveles óptimos de aluminio varían de 0.5-1.5 meq/100 g. Para tal caso a profundidades entre 0-20 cm el 28% de las parcelas se encuentra en estado “Medio”, 8% en estado “Bajo” (<0.5 meq/100 g) y el 64% en estado “Alto” (>0.5 meq/100 g) (Figura 15). Y entre 20-40 cm de profundidad el 12% en estado “Medio” y el 88% en estado “Alto” (Figura 16).

En estos suelos y a menudo en profundidades entre 20-40 cm, el nivel de aluminio tiende a aumentar y está relacionado con la acidez de los suelos. Esto aumenta la citotoxicidad del aluminio para mostrarse como una de las mayores limitantes para el crecimiento y desarrollo tanto radicular así también como en el de la planta (Salinas, citado por IHCAFE 2014).

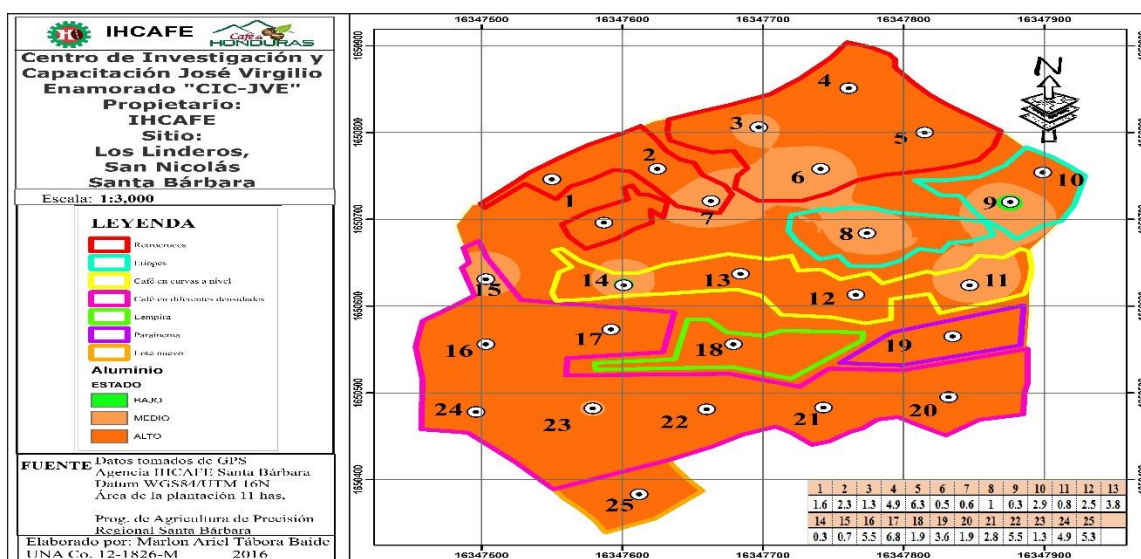


Figura 15. Aluminio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

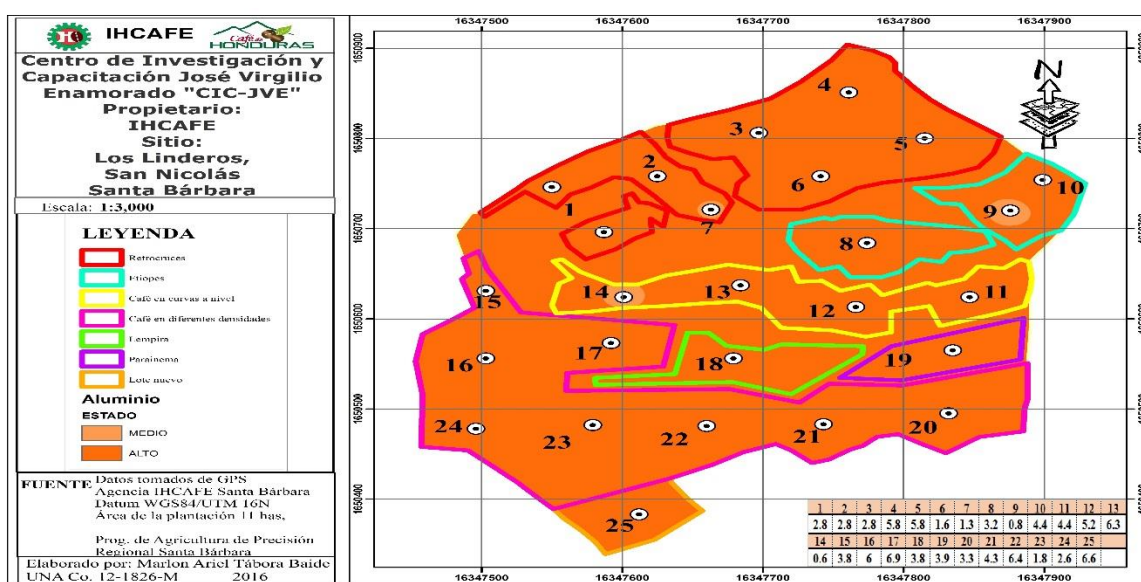


Figura 16. Aluminio disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.9 Niveles de zinc

Entre 0-20 cm de profundidad los suelos en las parcelas presentan un 8% de las parcelas en estado “Bajo” (<4.0 ppm) y un 92% en estado “Alto” (>5.0 ppm), teniendo valor mínimo en la parcela 24, media en la parcela 8 y máximo en la parcela 2 (Figura 17). Ya para el suelo entre 20-40 cm de profundidad, el 28% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo”, 16% en estado “Medio” y 52% en estado “Alto” (Figura 18).

El nivel óptimo de zinc para el café oscila entre 4.0-5.0 ppm y en este caso depende de la cantidad de arcilla, concentraciones de Fe y Al, humedad y materia orgánica presente en los suelos, observándose que esta última se encuentra en menor cantidad entre 20-40 cm de profundidad por ende que el nivel de Zn se va disminuyendo. Su deficiencia se refleja en poco crecimiento de las plantas y en la formación de semillas y granos. Es particularmente importante en la maduración del cultivo, en la altura de las plantas y en la síntesis de proteínas (AGRONASA s.f.).

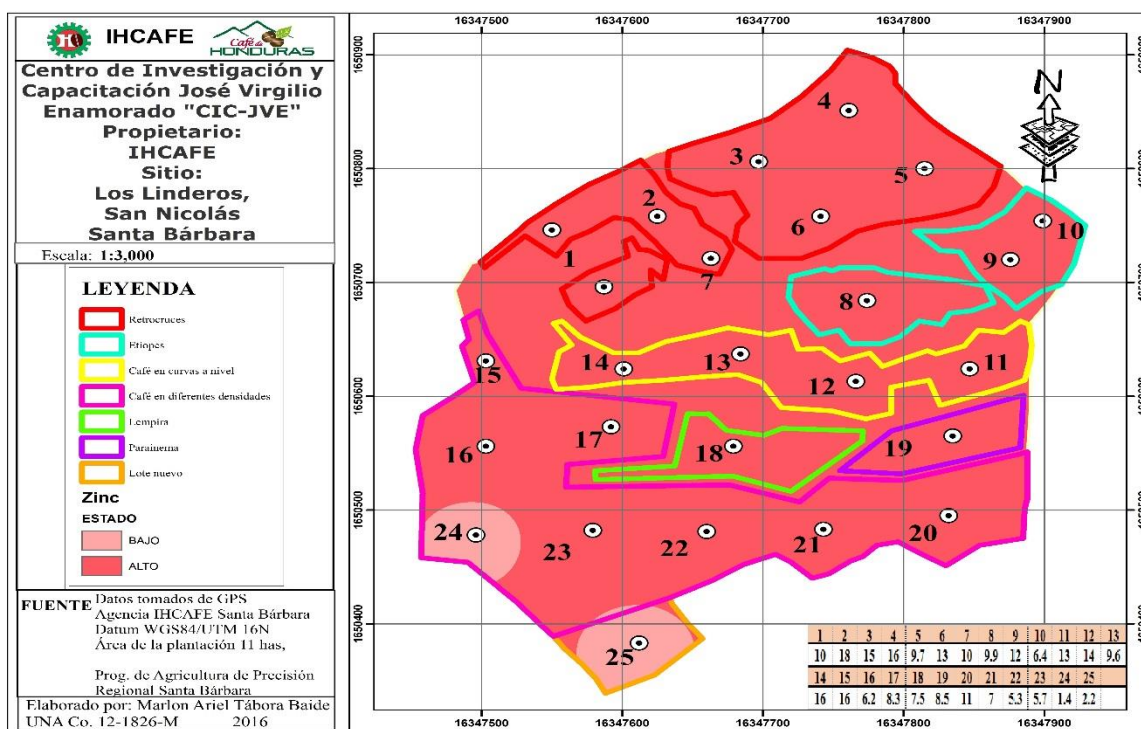


Figura 17. Zinc disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

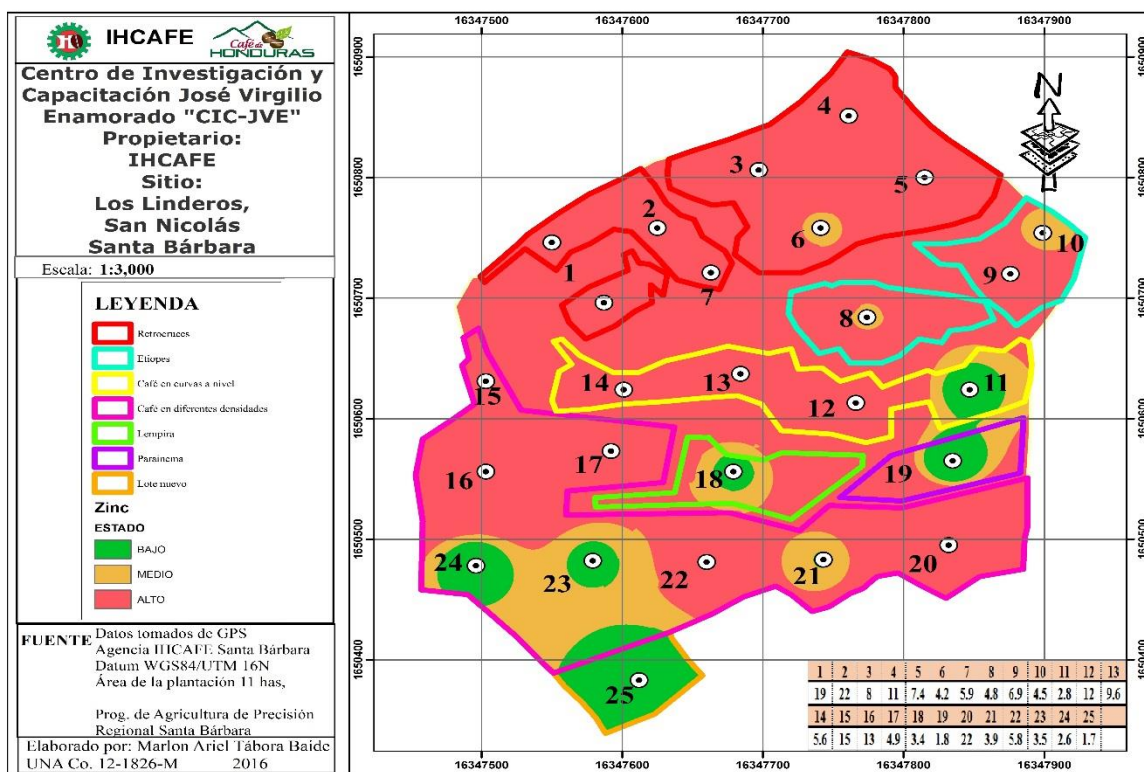


Figura 18. Zinc disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.1.10 Niveles de manganeso

En el se muestra que en los suelos entre 0-20 cm de profundidad el 92% de las parcelas se encuentran en estado óptimo (5.0-50 ppm) y el 8% en estado “Alto” (>50 ppm), con un nivel bajo en la parcela 16, medio en la cuadrícula 8 y máximo en la parcela 3 (Anexo 11). En lo concerniente a profundidades entre 20-40 cm, el 4% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo” (<5.0 ppm) y el 96% de las parcelas en estado “Medio”, donde la parcela 17 tiene valor mínimo, la parcela 19 medio y la parcela 1 un máximo (Anexo 12).

Al determinar que los niveles de Mn fluctúan en valores medios, se asocia a un pH bajo y MO deficiente que aumenta la cantidad en el suelo y la absorción del Mn, aunque hay que considerar que el exceso de este disminuye el crecimiento y baja la producción del cafeto por su efecto antagónico en la absorción del Zn.

5.1.11 Niveles de hierro

Los rangos óptimos de hierro oscilan entre 10-100 ppm, situación cumplida en los suelos entre 0-20 cm de profundidad al encontrarse todas las parcelas en ese rango de Fe, variando desde un valor mínimo en la parcela 23 a un máximo en la parcela 17 y con una media en la parcela 9 (Anexo 13). Mismo estado pertenece a los suelos entre 20-40 cm de profundidad variando del valor mínimo de Fe en la parcela 23 hasta un máximo en la parcela 4 teniendo una media en la cuadrícula 11 (Anexo 14).

En estos suelos los niveles de Fe tienden a escasearse por el uso de enmiendas calcáreas para aumentar el pH, sin embargo esta medida lleva su tiempo de efecto ocasionando en el transcurso las pérdidas del Fe anexando también que en estos pH bajos, el Mn impide la absorción del Fe.

5.1.12 Niveles de cobre

Los suelos del CICJVE a profundidades entre 0.20 cm contienen el 64% en estado “Bajo” (<2.0 ppm) y 36% en estado “Medio” (2.0-20 ppm) donde la parcela 24 tiene nivel mínimo, la parcela 18 una media y la parcela 7 un máximo (Figura 19). En profundidades entre 20-40 cm, el 96% de las parcelas se encuentran en estado “Bajo” y el 8% en estado “Medio” distribuido desde el valor mínimo en la parcela 24 y una media y máximo en las parcelas 22 y 7 respectivamente (Figura 20).

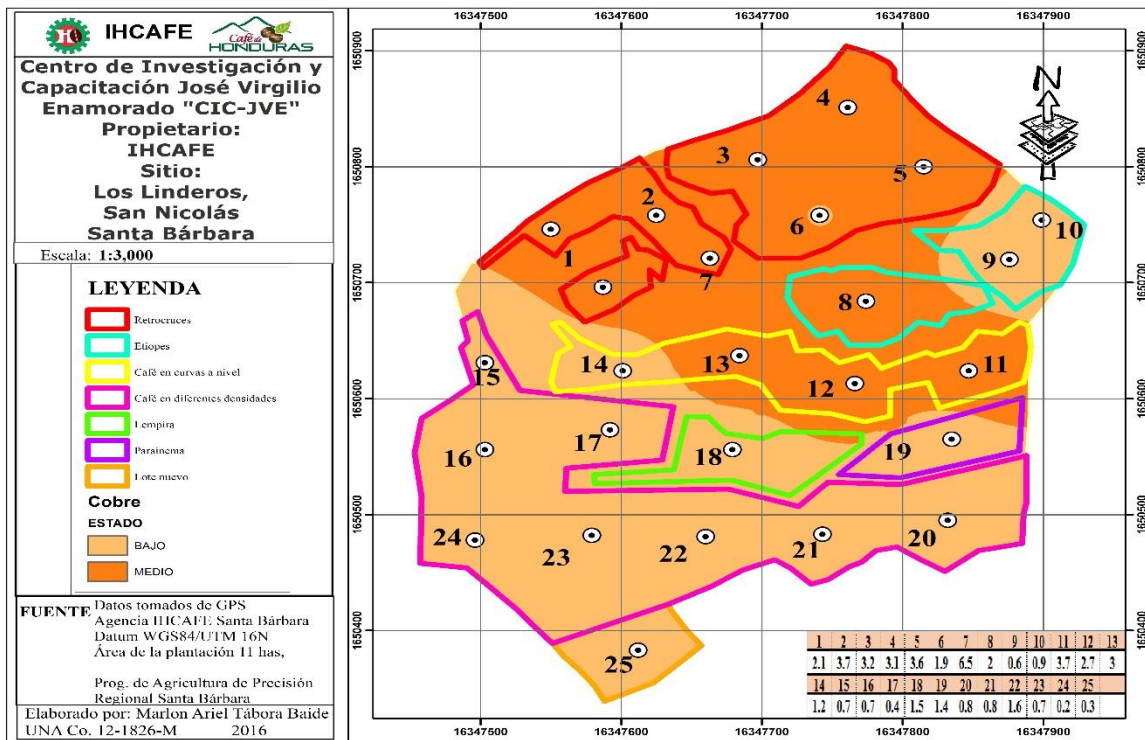


Figura 19. Cobre disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm

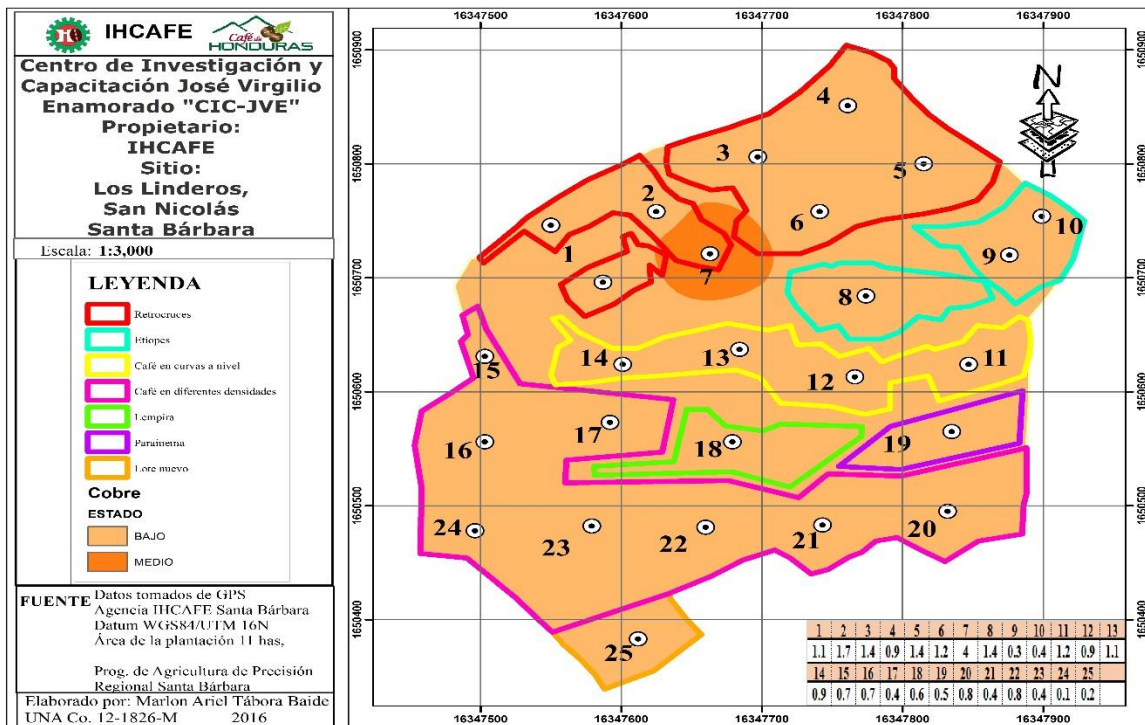


Figura 20. Cobre disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm

5.2 Análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC)

El ACP es un análisis multivariado que permite reducir la dimensionalidad de las variables permitiendo identificar las que más aportan a la variabilidad observada en este estudio. Para explicar la variabilidad de los suelos se seleccionaron aquellos componentes principales con valores propios mayores que 1. El primer componente principal (CP1) con valor propio 3.44 presenta correlación positiva con el aluminio ($R= 0.50$) y con el calcio negativamente ($R= -0.50$), explicando un 31% de la variabilidad total; por su parte el CP2 con valor propio de 2.10 explica el 19% y esta correlacionado con la materia orgánica, fósforo, zinc y cobre ($R= 0.40, 0.46, 0.41, 0.55$, respectivamente); el tercer componente principal (CP3) con valor propio de 1.49, se alcanza a explicar el 14% y esta correlacionado positivamente con el manganeso y negativamente con el potasio; y finalmente el CP4 con un valor propio de 1.32 explica un 12% de la variabilidad total y conjuntamente estos cuatro primeros componentes principales ayudan a explicar un 76% variabilidad total (Figura 21, Anexo 15).

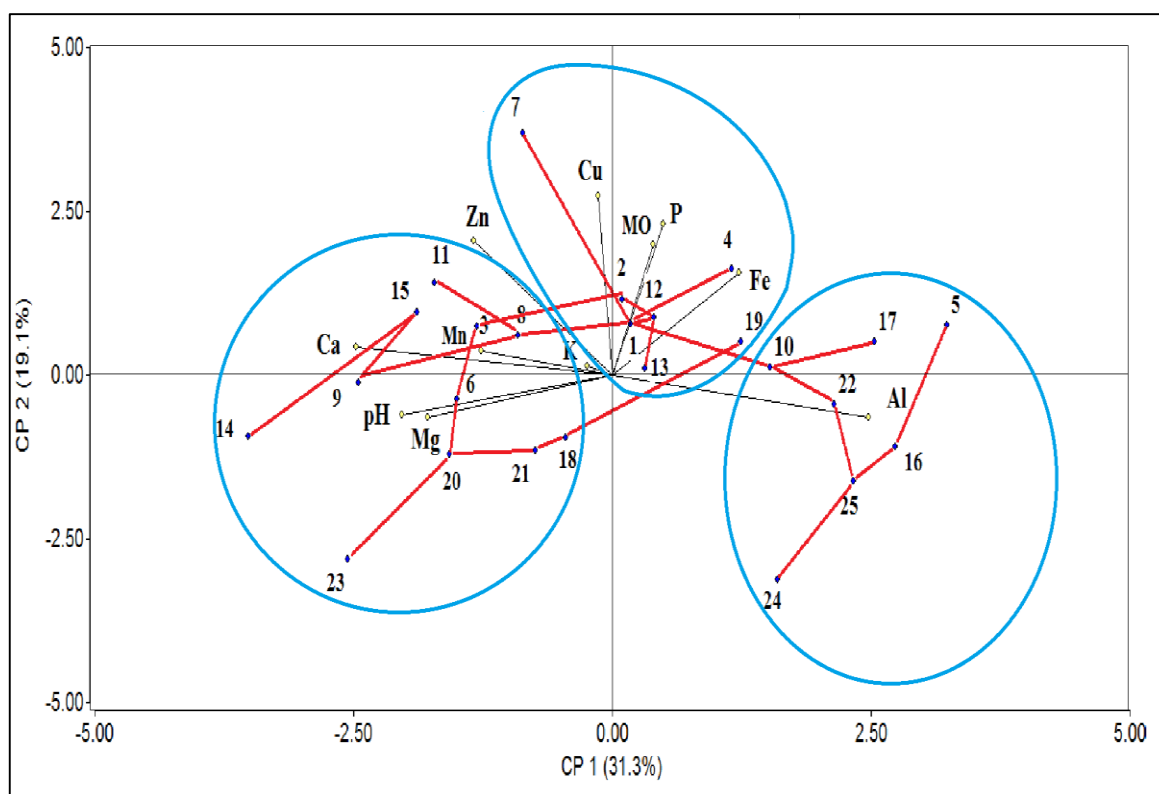


Figura 21. ACP de las propiedades químicas del suelo del CIC-JVE.

Sin embargo y para complementar el ACP, se realizó un AC (método Ward) y con un corte arbitrario en la distancia 8.17 se logran apreciar o formar tres grupos compuestos por parcelas que comparten determinadas propiedades químicas (Figura 22). De esta manera se complementa al determinar que el grupo compuesto por las parcelas 25, 24, 19, 5, 16, 17, 4, 22 y 10, contienen los niveles más altos de aluminio (desde 2.89 a 6.29 meq/100g), el grupo de las parcelas 23, 21, 20, 18, 15, 14, 9, 8 y 11, contienen los niveles más altos de calcio desde 4.01 a 8.33 meq/100g; y finalmente las parcelas 13, 7, 2, 12, 6, 3 y 1 constituyen el grupo con mejores niveles de materia orgánica (3.04-9.89%), fósforo (2.18-11.11 ppm), zinc (9.62-17.57 ppm) y cobre (1.89-6.54 ppm).

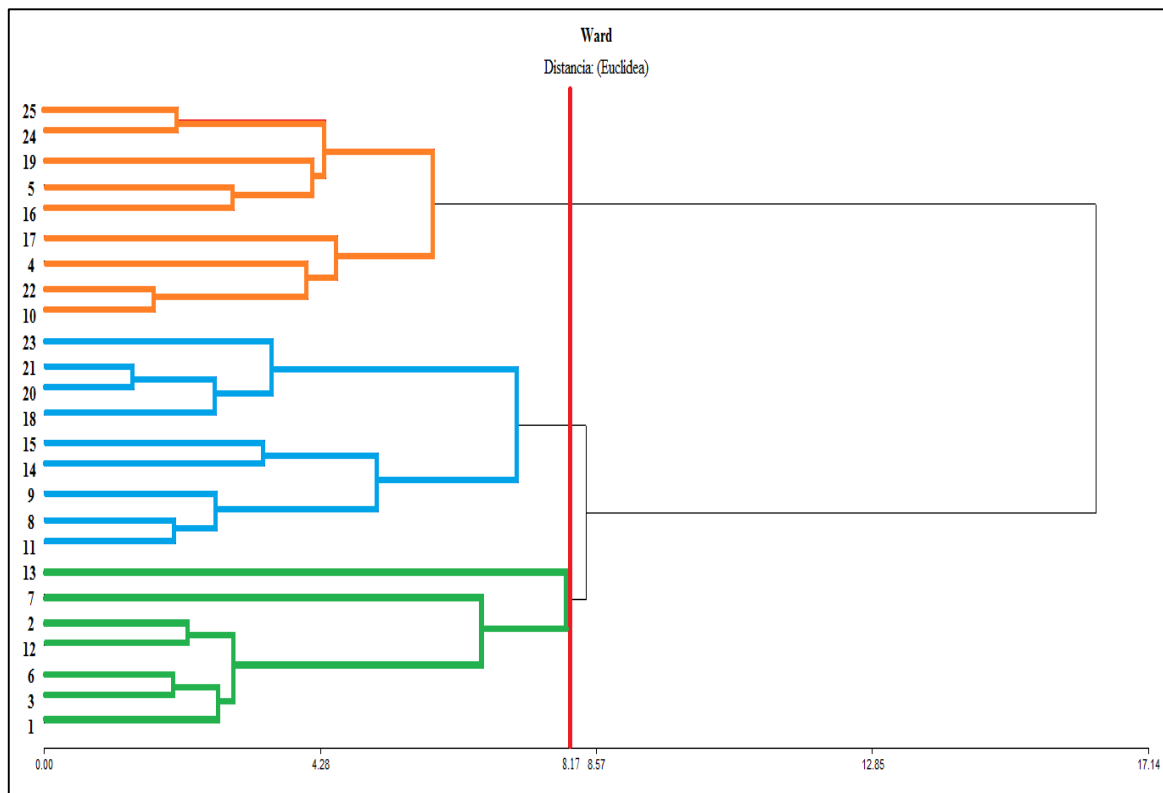


Figura 22. AC de las propiedades químicas del suelo del CIC-JVE

Además este tipo de análisis permite a nivel de campo definir o decidir el manejo que se les puede dar a las parcelas asociadas. Como bien en el grupo uno hay que tomar medidas rápidas para reducir los niveles de Al y suministrar el resto de los elementos nutricionales; en el grupo dos de parcelas habrá que mantener los niveles de Ca y no preocuparse por los niveles

de Mg, pero si se tendrá que mejorar los niveles de P, Cu, Mn y MO o N; mientras que las parcelas del grupo tres aún no están exentas de relativos altos contenidos de aluminio por lo que se deben manejar en estas parcelas los niveles de Ca y Mg (Figura 23).

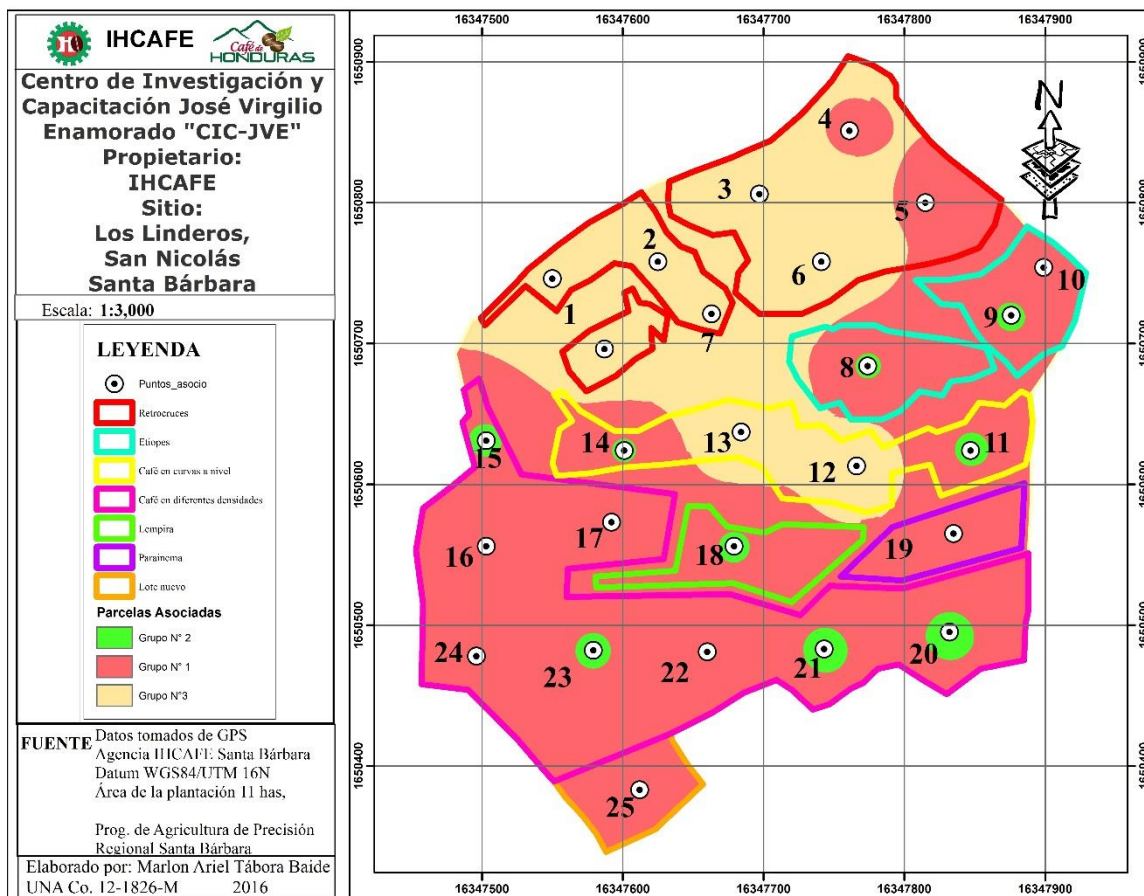


Figura 23. Parcelas asociadas según el ACP y AC

5.3 Determinación de costos por fertilización

El LQA brinda los requerimientos nutricionales para el cultivo de café según el análisis de suelos en libras por manzana por año donde se recomienda dividirlo entre tres aplicaciones (Cuadro 9 y 10). De ahí partir a la determinación de la cantidad de insumos a utilizar para suplir la demanda nutricional de las plantas utilizando las siguientes relaciones (Cuadro 12, 13, 15, 16, 18 y 19):

100 lb Nitrato de Amonio= 33.5 lb de N

100 lb 12-24-12= 24 lb de P

100 lb KCL granulado= 60 lb de K

100 lb K-Mag= 18 lb de Mg

Cuadro 9. Recomendación por elemento en suelos entre 0-20 cm de profundidad

Parcela	N	P	K	Mg
1	378	88	208	16
2	448	88	208	16
3	448	88	139	0
4	378	88	162	16
5	378	88	208	16
6	448	88	208	0
7	378	0	208	16
8	362	88	138	0
9	362	88	139	0
10	432	0	144	0
11	139	11	0	0
12	200	88	0	0
13	200	117	0	0

Parcela	N	P	K	Mg
14	366	88	72	0
15	362	0	144	0
16	297	88	208	7
17	362	0	208	0
18	395	88	180	0
19	346	88	208	0
20	464	88	180	0
21	394	88	139	0
22	464	88	208	0
23	464	88	180	0
24	366	88	208	7
25	139	71	69	0

NOTA: Datos brindado por LQA en lb por manzana por año (2016)

Cuadro 10. Recomendación por elemento en los suelos entre 20-40 cm de profundidad

Parcela	N	P	K	Mg
1	448	88	208	16
2	448	88	208	16
3	448	88	208	16
4	448	88	208	16
5	448	88	208	16
6	448	88	370	0
7	448	88	370	46
8	432	88	207	0
9	432	88	352	0
10	432	88	208	14
11	201	135	0	0
12	201	64	69	0
13	201	139	69	0

Parcela	N	P	K	Mg
14	366	88	139	0
15	432	88	144	14
16	366	88	280	7
17	432	88	208	0
18	464	88	208	18
19	346	88	208	12
20	464	88	208	0
21	464	88	208	0
22	464	88	208	18
23	395	88	208	0
24	297	88	72	0
25	201	75	69	0

NOTA: Datos brindado por LQA en lb por manzana por año (2016)

Cuadro 11. Dosificación de fórmula 12-24-12 en los suelo del CIC-JVE

Lote	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal (lb)
Los Ponce	3	98	294
Ponce Lempira	3	98	294
Apicultura-Ethiope	3	98	294
Híbrido M-C-CA	2.5	129	322
Porquerisa y manzanal	4	98	392
IHC-Bordo-Podas Var.	5	98	490
Ocote-Jobo	5.5	98	539
IHC-90 quebrada	1	131	131
Resto Ensayos	0.5	99	50
TOTAL (lb)			3106

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2015

Cuadro 12. Recomendación de fórmula 12-24-12 en los suelo entre 0-20 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	lb/mz	Subtotal
1	1	123	123
2	1	123	123
3	1	123	123
4	1	123	123
5	0.5	123	62
6	0.6	123	74
7	0.8	0	0
8	1	123	123
9	1	123	123
10	0.45	0	0
11	0.5	16	8
12	0.5	123	62
13	0.4	162	65

Parcela	Área (mz)	lb/mz	Subtotal
14	0.2	123	25
15	0.5	0	0
16	1	123	123
17	0.8	0	0
18	0.8	123	98
19	0.5	123	62
20	0.90	123	111
21	0.90	123	111
22	1	123	123
23	1	123	123
24	1	123	123
25	1	98	98
TOTAL (lb)			2006

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

Cuadro 13. Recomendación de fórmula 12-24-12 en suelo entre 20-40 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
1	1	123	123
2	1	123	123
3	1	123	123
4	1	123	123
5	0.5	123	62
6	0.6	123	74
7	0.8	123	98
8	1	123	123
9	1	123	123
10	0.45	123	55
11	0.5	187	94
12	0.5	88	44
13	0.4	193	77

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
14	0.2	123	25
15	0.5	123	62
16	1	123	123
17	0.8	123	98
18	0.8	123	98
19	0.5	123	62
20	0.90	123	111
21	0.90	123	111
22	1	123	123
23	1	123	123
24	1	123	123
25	1	104	104
TOTAL (lb)			2405

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

Cuadro 14. Dosificación de Nitrato de Amonio en los suelos del CIC-JVE

Lote	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal (lb)
Los Ponce	3	276	828
Ponce Lempira	3	276	828
Apicultura-Ethiope	3	309	927
Híbrido M-C-CA	2.5	240	600
Porquerisa y manzanal	4	276	1104
IHC-Bordo-Podas Var.	5	293	1465
Ocote-Jobo	5.5	293	1612
IHC-90 quebrada	1	90	90
Resto Ensayos	0.5	293	147
TOTAL (lb)			7601

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2015

Cuadro 15. Dosis recomendada de Nitrato de Amonio en los suelo entre 0-20 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
1	1	333	333
2	1	402	402
3	1	402	402
4	1	333	333
5	0.5	333	167
6	0.6	402	241
7	0.8	377	302
8	1	316	316
9	1	316	316
10	0.45	429	193
11	0.5	133	67
12	0.5	156	78
13	0.4	142	57
TOTAL (lb)			6369

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
14	0.2	321	64
15	0.5	360	180
16	1	251	251
17	0.8	360	288
18	0.8	349	279
19	0.5	300	150
20	0.90	418	376
21	0.90	349	314
22	1	418	418
23	1	418	418
24	1	321	321
25	1	103	103
TOTAL (lb)			6369

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

Cuadro 16. Dosis recomendada de Nitrato de Amonio en los suelos entre 20-40 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
1	1	402	402
2	1	402	402
3	1	402	402
4	1	402	402
5	0.5	402	201
6	0.6	402	241
7	0.8	402	322
8	1	386	386
9	1	386	386
10	0.45	386	174
11	0.5	133	67
12	0.5	168	84
13	0.4	131	52

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
14	0.2	321	64
15	0.5	386	193
16	1	321	321
17	0.8	386	309
18	0.8	418	334
19	0.5	300	150
20	0.90	418	376
21	0.90	418	376
22	1	418	418
23	1	349	349
24	1	251	251
25	1	162	162
TOTAL (lb)			6448

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

Cuadro 17. Dosificación de KCl granulado en los suelos del CIC-JVE

Lote	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal (lb)
Los Ponce	3	58	174
Ponce Lempira	3	31	93
Apicultura-Ethiope	3	96	288
Híbrido M-C-CA	2.5	90	225
Porquerisa y manzanal	4	96	384
IHC-Bordo-Podas Var.	5	95	475
Ocote-Jobo	5.5	40	220
IHC-90 quebrada	1	89	89
Resto Ensayos	0.5	40	20
TOTAL (lb)			1968

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2015

Cuadro 18. Dosis recomendada de KCl en los suelo entre 0-20 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
1	1	80	80
2	1	91	91
3	1	52	52
4	1	66	66
5	0.5	91	46
6	0.6	91	55
7	0.8	105	84
8	1	52	52
9	1	52	52
10	0.45	80	36
11	0.5	0	0
12	0.5	0	0
13	0.4	0	0

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
14	0.2	16	3
15	0.5	80	40
16	1	91	91
17	0.8	116	93
18	0.8	76	61
19	0.5	91	46
20	0.90	76	68
21	0.90	52	47
22	1	91	91
23	1	76	76
24	1	91	91
25	1	19	19
TOTAL (lb)			1340

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

Cuadro 19. Dosis recomendada de KCl en los suelo entre 20-40 cm de profundidad

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
1	1	91	91
2	1	91	91
3	1	91	91
4	1	91	91
5	0.5	91	46
6	0.6	181	109
7	0.8	159	127
8	1	91	91
9	1	171	171
10	0.45	91	41
11	0.5	0	0
12	0.5	21	11
13	0.4	0	0

Parcela	Área (mz)	Lb/mz	Subtotal
14	0.2	52	10
15	0.5	56	28
16	1	131	131
17	0.8	91	73
18	0.8	91	73
19	0.5	91	46
20	0.90	91	82
21	0.90	91	82
22	1	91	91
23	1	91	91
24	1	16	16
25	1	0	0
TOTAL (lb)			1683

NOTA: Datos brindados por el LQA en el 2016

5.4 Propiedades físicas del suelo por CATENA

El fin primordial a través del análisis CATENA es hacer un estudio acerca del perfil del suelo, cómo este varía o no según su pendiente y así permitir la toma de decisiones al conocer la evolución o transformación del suelo en determinado sitio a otro. Cabe recalcar que es un estudio denominado toposecuencia, influenciado por el relieve (pendiente del terreno) y se permite determinar gracias a la construcción de calicatas al hacer análisis de los horizontes que conforman el perfil del suelo (Anexo 20).

5.4.1 Correlación pendiente-profundidad efectiva en el suelo del CIC-JVE

En el sitio 1 se localizó el punto Summit con pendiente igual 0% teniendo profundidad efectiva de 88 cm, seguidamente se encuentra el punto Backslope con pendiente de 85% y profundidad efectiva igual a 76 cm y finalmente se localizó el punto Footslope con pendiente 16% y profundidad efectiva correspondiente a 90 cm. Existe una profundidad efectiva moderadamente profunda (50-100 cm) (Figura 24).

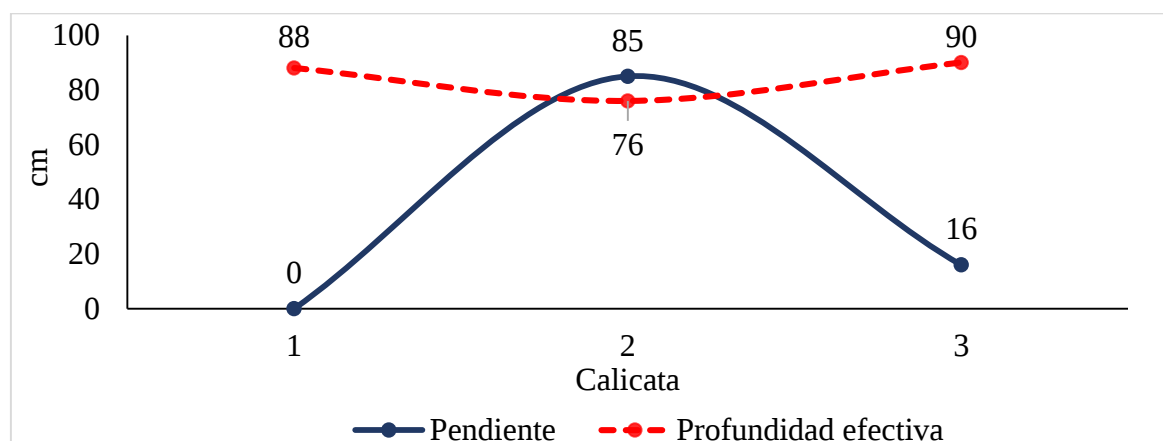


Figura 24. Pendientes y profundidad efectiva en el sitio 1

Mientras que en el sitio 2 se localizaron dos puntos Backslope con pendiente de 45 y 30% conteniendo cada punto una profundidad efectiva igual 80 y 87 cm respectivamente, siendo profundidad efectiva igual al sitio 1 (Figura 25).

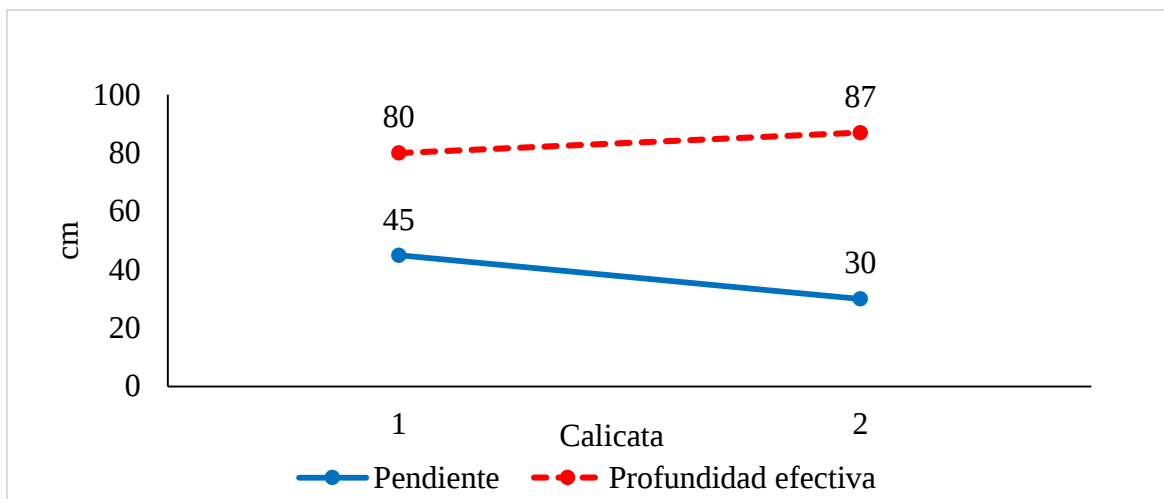


Figura 25. Pendientes y profundidad efectiva en el sitio 2

5.4.2 Horizontes de transición

En la calicata o perfil 1 se encuentra un horizonte de transición BC difuso (>12 cm); en el perfil 2 existen los horizontes AB y BC igualmente difusos; en el perfil 3 hay un horizonte AB gradual (6.5-12.5 cm); en el perfil 4 se presencia un horizonte CB difuso y finalmente en el perfil 5 se encuentra un horizonte AB gradual (Figura 26).

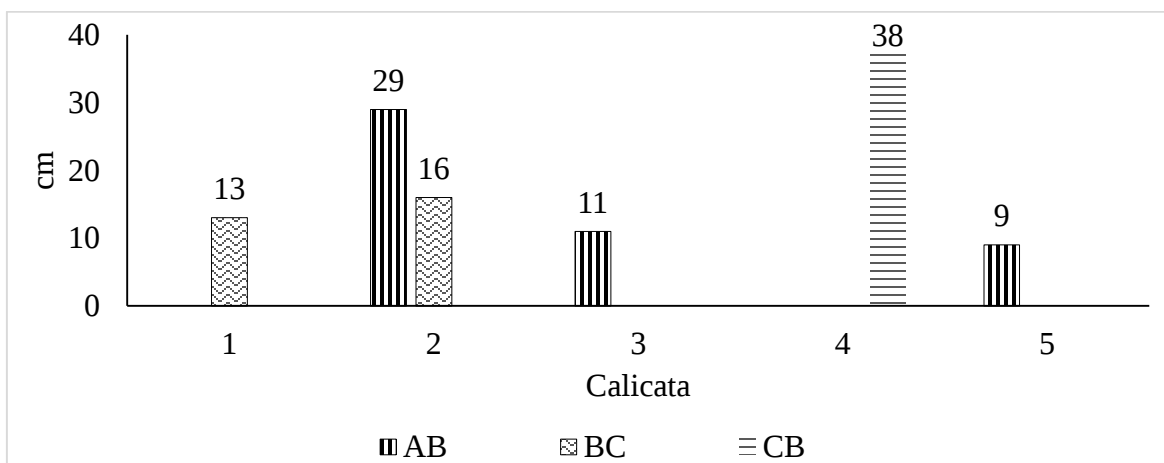


Figura 26. Horizontes de transición en cada perfil de suelo

5.4.3 Forma de los límites entre horizontes

Perfil	Límite	Forma	Ver
1	A/B	Suave	Anexo 16
	B/BC	Ondulado	
	BC/C	Ondulado	
2	A/AB	Ondulado	Anexo 16
	AB/B	Ondulado	
	B/BC	Irregular	
	BC/C	Ondulado	
3	A/AB	Irregular	Anexo 16
	AB/B	Suave	
	B/C	Suave	
4	A/B	Ondulado	Anexo 17
	B/CB	Suave	
	CB/C	Suave	
5	A/AB	Suave	Anexo 17
	AB/B	Irregular	
	B/C	Ondulado	

VI. CONCLUSIONES

Considerablemente todos los suelos de las cuadrículas y en relación a sus profundidades presentaron una moderada variabilidad espacial en todas las propiedades químicas. Llamando la atención que mostraron una acidez alta ($\text{pH} = 3.6$) propicia para la toxicidad del aluminio, incluyendo una textura franco arcillosa con estructura granular y compacta.

Los suelos cuentan con moderada profundidad efectiva, donde no se encontraron piedras o rocas que obstaculicen el crecimiento radicular incluyendo pendientes que van de moderadas a fuertes, lo cual hace posible la práctica del cultivo porque no hay inferencias que limite el desarrollo radicular y acumulación de agua que favorezca la diseminación de microorganismos patógenos.

Por una parte en las cuadrículas estudiadas los niveles de elementos esenciales como N, P, K, Mg y Ca se encuentran en estados medio a bajos, los cuales están deficitarios a lo ideal para el cultivo de café. Y por el otro extremo los elementos tales como Al, Zn, Mn y Fe se encuentran en estado medio a alto debido a condiciones de pH y MO ante todo.

El implemento de la agricultura de precisión inicia desde el estudio de las condiciones del suelo que puedan dar específicamente soluciones a la problemática común de los productores hondureños, ya que en su mayoría y en primer lugar no se interesan por el impacto socio ambiental que originan al hacer uso indiscriminado de enmiendas o insumos nutricionales. En segundo lugar no hay una buena disciplina para reducir los costos de manera adecuada que finalicen con el impacto económico en nuestros caficultores.

VII. RECOMENDACIONES

Es necesario que los caficultores puedan lotificar sus fincas a mayor número de parcelas que permitan la extracción precisa de información sobre el estado concurrente de sus fincas. Asimismo que puedan comprender en primera instancia la importancia de mejorar las condiciones fisicoquímicas de los suelos, dado que sus cultivos muestran su potencial productivo en las óptimas condiciones brindadas.

Hacer hincapié a las recomendaciones producto del análisis preciso de cada una de las parcelas o cuadrículas (en este caso) para reducir gastos económicos. Ya que al observar el plan de fertilización del CIC-JVE para el 2015 y, compararlo con el plan de fertilización brindado tras el análisis de los suelos del CIC-JVE para el 2016, se reducen costos por quintales de ya sea fórmula, Nitrato de Amonio, KCl, K-Mag y Sulfato de Zinc.

Seguir realizando investigaciones en el área de suelos en fincas de otros productores para incrementar e implementar el programa de agricultura de precisión que mejore los problemas socioeconómicos de nuestro país. Concerniente al análisis de suelo a profundidades hay que considerar la capacidad económica de los productores.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro Joaquín, JA. 2014. Caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo en áreas de producción agrícola de la Escuela de Agricultura John F. Kennedy, San Francisco, Atlántida. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. p. 3.

Cantera, HE. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Queretaro, y su relación con el crecimiento bacteriano. (En línea) Tesis Lic. Bio. Universidad Autónoma de Querétaro, México. p. 1-7.

Guevara, DA. S.f. Calcio y magnesio del suelo. (En línea). Argentina. UNT. p. 1. Consultado 11 Sep. 2015. Disponible en:
<http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Calcio%20y%20Magnesio.pdf>

Informe anual. 2012. Tegucigalpa. Producción de café en Honduras en el período 2011-2012. (En línea) Honduras. 164 p. Consultado 21 Ago. 2015. Disponible en:
http://www.ihcafe.hn/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=97:informe-2011-2012&id=6:informes-de-cierre&Itemid=148

Informe anual. 2013. Estadística de producción de café en Honduras en el período 2012-2013. Honduras. 78 p. Consultado 21 Ago. 2015. Disponible en:
http://www.ihcafe.hn/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=105:informe-de-cierre-2012-2013&id=6:informes-de-cierre&Itemid=148

Lovo, JJ; Saavedra, JE; Saravia, R. 2013. Calidad de los suelos y plan de adecuación para los terrenos de uso agrícola y pecuario de Zamorano, Honduras. (En línea). Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. p. 1. Consultado 22 Ago. 2015. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1677/1/CPA-2013-035.pdf>

Paz Monrroy, GJ. 2012. Uso de enmiendas calcáreas sólidas y solubles en viveros de café (*coffea arabica*) en suelos franco arcillosos de Linderos, Santa Bárbara. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. p. 24.

Perez Quintero, MJ. 2013. Caracterización física de los suelos según su uso y diferentes pisos altitudinales en la parte baja de la Subcuenca del Río Mocal, Lempira. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. p. 6

Plasencia, A; Corbella, RD. 2007. Química del suelo: Nitrógeno del suelo. (En línea). Argentina. UNT. p. 1. Consultado 11 Sep. 2015. Disponible en: <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Nitrogeno%20del%20Suelo%20X.pdf>

Reyes Ruby, A. 2014. Caracterización de los suelos en la zona de los Ángeles, las Marías y el Guayabo del municipio de Dulce Nombre de Culmí. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. p 3-6.

Sanzano, A. s.f. El fósforo del suelo. (En línea). Argentina. UNT. p. 1. Consultado 10 Sep. 2015. Disponible en: <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Fosforo%20del%20Suelo.pdf>

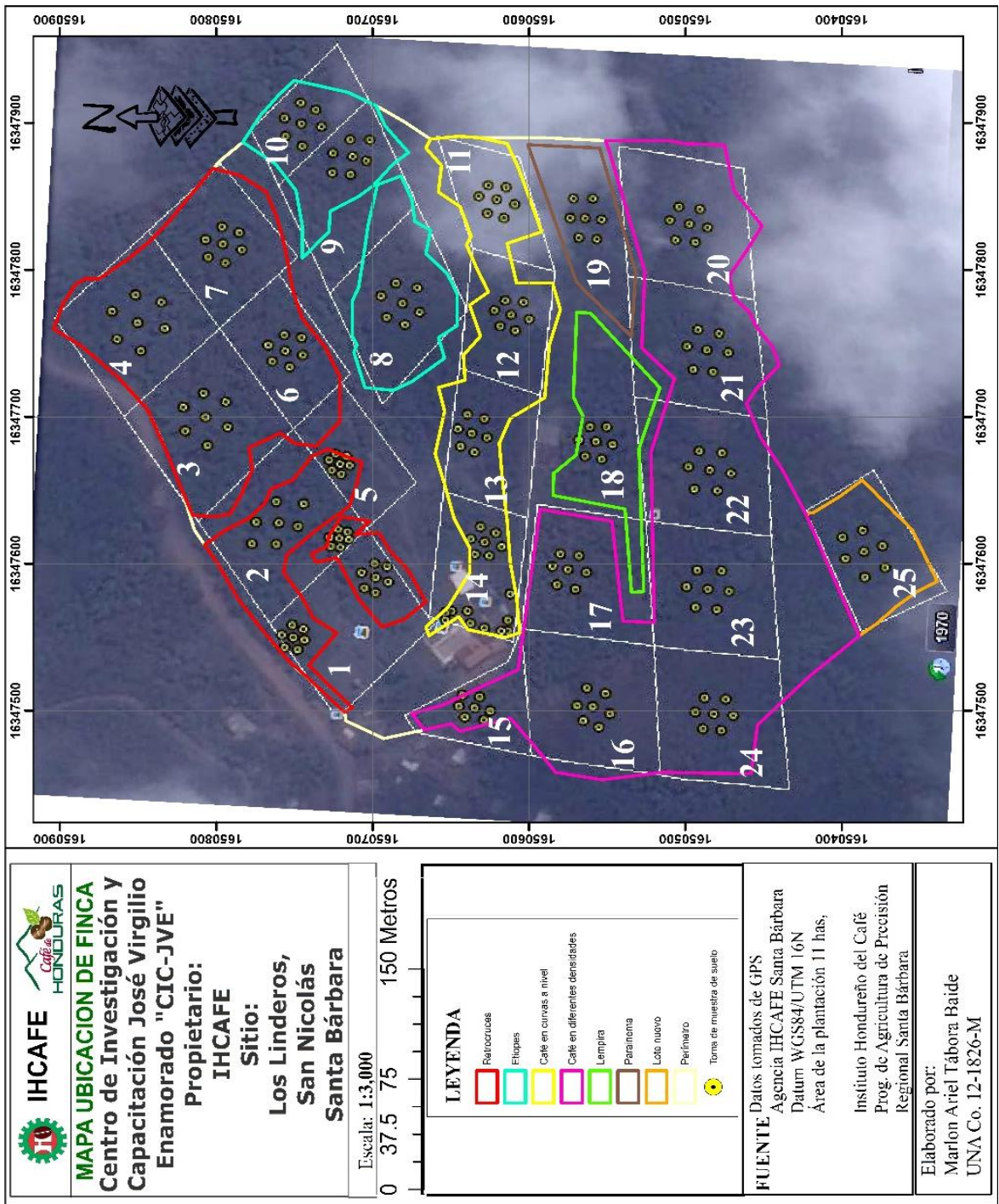
_____. s.f. El potasio del suelo. (En línea). Argentina. UNT. p. 1. Consultado 11 Sep. 2015. Disponible en: <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>

Tejada Licon, FM. 2014. Caracterización físico-químico y biológica de los suelos de productores de cacao (*Theobroma cacao, L*) en el municipio de Dulce Nombre de Culmí, Olancho. Diagnóstico Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. p. 4.

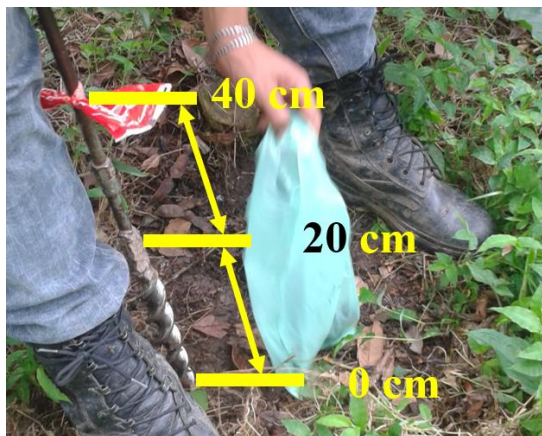
Velásquez Molina, KR. 2013. Diagnóstico de las características físicas en lotes de producción vegetal de la Universidad Nacional de Agricultura. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa sobre puntos de submuestras por cuadrícula



Anexo 2. Barreno para toma de suelo a dos profundidades



Anexo 3. Etiquetado de bolsas para muestra de suelo



Anexo 4. Hojas del análisis de las muestras de suelo por el LQA

Instituto Hondureño del Café
Laboratorio de Análisis de Suelos y Tejidos
Telfax: 2556-5030; 2556-7192

Sistema de Recomendaciones de Fertilización para Cafetales

Productor: CIC-JVE
Departamento: Santa Barbara
Edad/plantación (años): 15
Sombra: Si

Finca: Retrocruces
Municipio: San Nicolas
Número de Plantas/Mz: 3500
No. Lab. 331 - 16

Lote: cuadrícula 1/ 0-20
Aldea: Los Linderos
Rendimiento esperado: 45 (qq oro/mz)



Resultados del Análisis de Laboratorio

Elemento	Unidad	Contenido	Estado	Elemento	Unidad	Contenido	Estado	Relación	Valor	Estado
pH		4.13	Bajo	Aluminio	meq/100g	1.61	Alto	Ca/K	14	Medio
Materia Orgánica	%	4.62	Medio	Zinc	ppm	10.05	Alto	Mg/K	3.07	Medio
Fósforo	ppm	8.92	Bajo	Manganeso	ppm	37.22	Medio	Ca/Mg	4.56	Medio
Potasio	meq/100g	0.29	Medio	Hierro	ppm	29.09	Medio	Ca+Mg/K	17.07	Medio
Calcio	meq/100g	4.06	Medio	Cobre	ppm	2.14	Medio	Ca+Mg+K	5.24	Aceptable
Magnesio	meq/100g	0.89	Bajo					SatBases	74.43	Alto
Acidez intercambiable		1.8	Alto					K%	5.53	Aceptable
CICE		7.04								

Recomendaciones:

Forma Elemental	Libras por manzana por año
Nitrógeno:	378.45
Fósforo:	88.21
Potasio:	207.9
Magnesio:	15.82
Zinc:	0

Anexo 5. Formato descriptivo de cada muestra de suelo

INSTITUTO HONDUREÑO DEL CAFE
LABORATORIO DE SUELOS

BOLETA DE INFORMACION DE CAMPO

IDENTIFICACION

- I.1 Cuadrícula No. 1
- I.2 Nombre del propietario: CIC – JVE
- I.3 Nombre de la Finca: Retrocruces Altura m.s.n.m.: 1140
- I.4 Aldea o Caserío: Los Linderos
- I.5 Municipio: San Nicolás Departamento: Santa Bárbara
- I.6 Fecha entrega: 02-12-15 Lote No. 1

CULTIVO

- II.1 Edad de la plantación: 15 años Área muestreada: 1.14mz
- II.2 No. De Planta/mz: 3500
- II.3 Sombra densa: Sombra Regulada: X Pleno sol:
- II.4 Ultima producción qq/oro/mz: 40 Producción esperada qq/oro/mz: 45
- II.5 Plantas en producción: 2000 Plantas en crecimiento: 2000
- II.6 Distanciamiento de sombra: 8*8

FERTILIZACION

- III.1 Aplica fertilizantes foliares: Si No X
- Identifíquelos:
- III.2 Fue fertilizada anteriormente: Si X No
- III.3 Formula del fertilizante: 17-3-17 + NITRAMON+UREA+KCl Fue encalada: SI
- Regional No. 1 Cultivo: Café
- Observaciones: 0 a 20 m
-

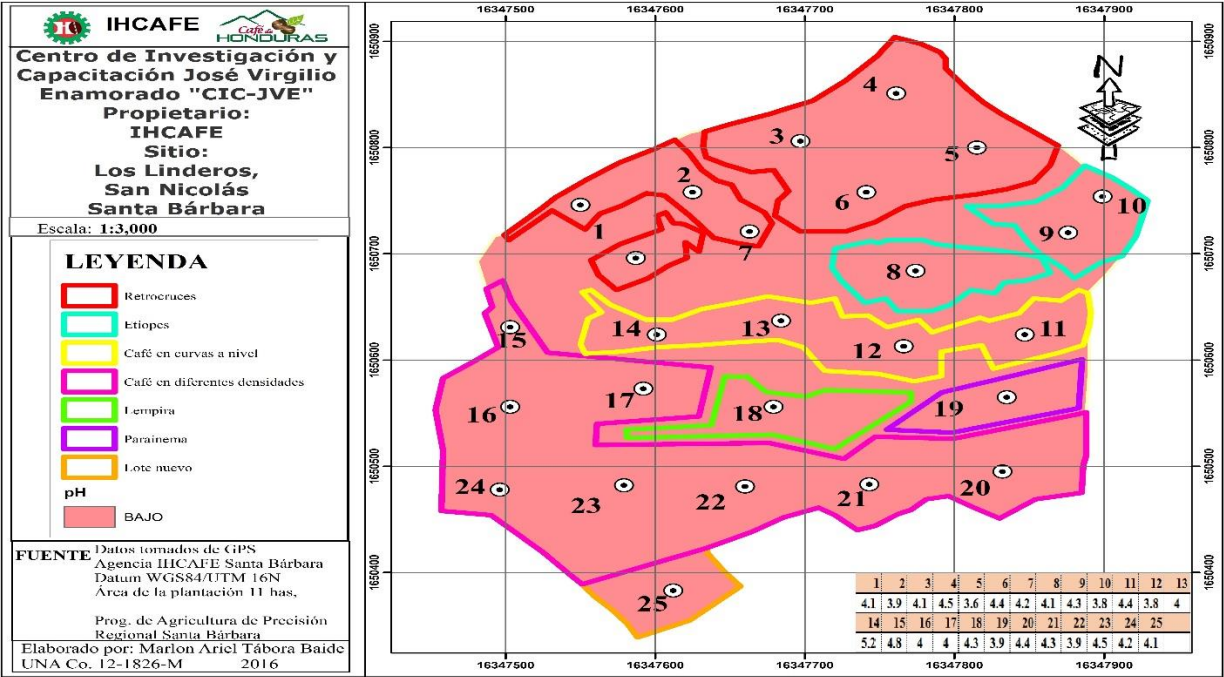
Anexo 6. Resultados del análisis de suelo entre 0-20 cm de profundidad

Parcela	pH	Estado	MO (%)	Estado	N (ppm)	Estado	P (ppm)	Estado	K (meq/100g)	Estado	Ca (meq/100g)	Estado	Mg (meq/100g)	Estado	Al (meq/100g)	Estado	Zinc (ppm)	Estado	Mn (ppm)	Estado	Fe (ppm)	Estado	Co (ppm)	Estado
1	4.13	Bajo	4.62	Medio	0.23	Medio	8.92	Bajo	0.29	Medio	4.06	Medio	0.89	Bajo	1.61	Alto	10.05	Alto	37.22	Medio	29.09	Medio	2.14	Medio
2	3.92	Bajo	3.04	Bajo	0.15	Bajo	3.24	Bajo	0.22	Bajo	2.92	Bajo	0.78	Bajo	2.29	Alto	17.57	Alto	50.35	Alto	31.4	Medio	3.67	Medio
3	4.14	Bajo	3.7	Bajo	0.19	Bajo	4.5	Bajo	0.4	Medio	4.92	Medio	1.29	Medio	1.29	Medio	14.74	Alto	54.59	Alto	24.93	Medio	3.2	Medio
4	4.47	Bajo	4.36	Medio	0.22	Medio	9.74	Bajo	0.43	Alto	2.18	Bajo	0.89	Bajo	4.89	Alto	16.25	Alto	23.03	Medio	37.59	Medio	3.1	Medio
5	3.6	Bajo	5.15	Medio	0.26	Medio	5.72	Bajo	0.28	Medio	1.39	Bajo	0.65	Bajo	6.29	Alto	9.67	Alto	11.41	Medio	30.81	Medio	3.6	Medio
6	4.36	Bajo	3.04	Bajo	0.15	Bajo	2.18	Bajo	0.29	Medio	5.26	Medio	1.55	Medio	0.54	Medio	12.56	Alto	37.47	Medio	29.29	Medio	1.89	Bajo
7	4.18	Bajo	9.89	Medio	0.49	Medio	11.11	Medio	0.26	Medio	5.72	Medio	1.123	Medio	0.61	Medio	10.44	Alto	46.25	Medio	23.06	Medio	6.54	Medio
8	4.13	Bajo	4.88	Medio	0.24	Medio	9.77	Bajo	0.31	Medio	5.68	Medio	1.83	Medio	0.97	Medio	9.85	Alto	29.54	Medio	26.42	Medio	1.97	Bajo
9	4.34	Bajo	4.75	Medio	0.24	Medio	6.16	Bajo	0.35	Medio	8.33	Medio	2.02	Medio	0.29	Bajo	11.88	Alto	36.36	Medio	26.75	Medio	0.56	Bajo
10	3.84	Bajo	3.44	Bajo	0.17	Bajo	10.8	Medio	0.43	Alto	3.03	Bajo	1.21	Medio	2.89	Alto	6.37	Alto	27.58	Medio	36.41	Medio	0.91	Bajo
11	4.35	Bajo	4.09	Medio	0.20	Medio	9.36	Bajo	0.65	Alto	5.97	Medio	2.3	Medio	0.79	Medio	12.99	Alto	29.98	Medio	32.65	Medio	3.67	Medio
12	3.83	Bajo	3.44	Bajo	0.17	Bajo	4.99	Bajo	0.33	Medio	4.22	Medio	1.28	Medio	2.51	Alto	14.03	Alto	31.7	Medio	37.58	Medio	2.67	Medio
13	3.95	Bajo	3.44	Bajo	0.17	Bajo	3.39	Bajo	3	Alto	4.71	Medio	1.72	Medio	3.8	Alto	9.62	Alto	15.53	Medio	34.36	Medio	3.04	Medio
14	5.22	Bajo	3.7	Bajo	0.19	Bajo	1.28	Bajo	0.45	Alto	7.7	Medio	2.01	Medio	0.29	Bajo	16.28	Alto	11.25	Medio	22.41	Medio	1.22	Bajo
15	4.79	Bajo	6.33	Medio	0.32	Medio	10.72	Medio	0.54	Alto	7.07	Medio	1.53	Medio	0.71	Medio	16.15	Alto	8.92	Medio	25.78	Medio	0.67	Bajo
16	3.98	Bajo	5.02	Medio	0.25	Medio	0.79	Bajo	0.16	Bajo	2.01	Bajo	0.72	Bajo	5.51	Alto	6.22	Alto	11.89	Medio	37.99	Medio	0.66	Bajo
17	3.98	Bajo	6.6	Medio	0.33	Medio	10.65	Medio	0.27	Medio	2.51	Bajo	2.16	Medio	6.8	Alto	8.29	Alto	5.48	Medio	45.91	Medio	0.44	Bajo
18	4.33	Bajo	5.67	Medio	0.28	Medio	2.28	Bajo	0.41	Alto	4.01	Medio	1.25	Medio	1.88	Alto	7.49	Alto	32.28	Medio	17.86	Medio	1.45	Bajo
19	3.9	Bajo	8.44	Medio	0.42	Medio	8.58	Bajo	0.2	Bajo	2.92	Bajo	1.1	Medio	3.61	Alto	8.45	Alto	25.93	Medio	18.51	Medio	1.37	Bajo
20	4.44	Bajo	3.7	Bajo	0.19	Bajo	2.7	Bajo	0.41	Alto	4.23	Medio	2.1	Medio	1.87	Alto	11.11	Alto	45.26	Medio	22.53	Medio	0.78	Bajo
21	4.25	Bajo	4.23	Medio	0.21	Medio	5.12	Bajo	0.37	Medio	4.12	Medio	2.11	Medio	2.81	Alto	6.98	Alto	45.57	Medio	22.77	Medio	0.83	Bajo
22	3.94	Bajo	2.51	Bajo	0.13	Bajo	9.87	Bajo	0.28	Medio	2.38	Bajo	1.11	Medio	5.51	Alto	5.26	Alto	26.18	Medio	31.3	Medio	1.64	Bajo
23	4.46	Bajo	1.06	Bajo	0.05	Bajo	1.84	Bajo	0.42	Alto	5.93	Medio	2.36	Medio	1.29	Medio	5.68	Alto	49.87	Medio	11.72	Medio	0.67	Bajo
24	4.16	Bajo	2.91	Bajo	0.15	Bajo	0.61	Bajo	0.24	Bajo	2.23	Bajo	0.98	Bajo	4.85	Alto	1.4	Bajo	14.81	Medio	15.91	Medio	0.17	Bajo
25	4.12	Bajo	4.75	Medio	0.24	Medio	6	Bajo	0.19	Bajo	1.82	Bajo	0.78	Bajo	5.32	Alto	2.2	Bajo	18.64	Medio	23.01	Medio	0.28	Bajo

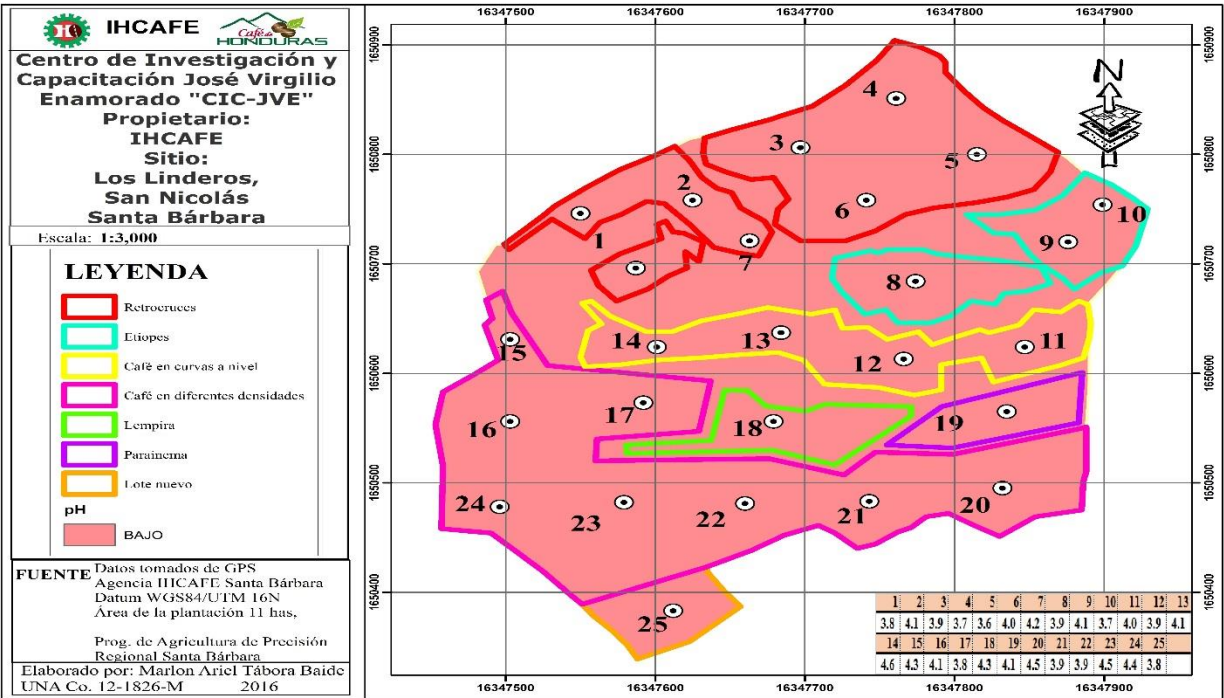
Anexo 7. Resultados del análisis de suelo entre 20-40 cm de profundidad

Parcela	pH	Estado	MO (%)	Estado	N (ppm)	Estado	P (ppm)	Estado	K (meg/100g)	Estado	Ca (meg/100g)	Estado	Mg (meg/100g)	Estado	Al (meg/100g)	Estado	Zinc (ppm)	Estado	Mn (ppm)	Estado	Fe (ppm)	Estado	Co (ppm)	Estado
1	3.82	Bajo	0.93	Bajo	0.05	Bajo	6.28	Bajo	0.18	Bajo	3.33	Bajo	0.77	Bajo	2.81	Alto	18.72	Alto	47.2	Medio	34.6	Medio	1.13	Bajo
2	4.09	Bajo	1.33	Bajo	0.07	Bajo	0.99	Bajo	0.16	Bajo	1.85	Bajo	0.55	Bajo	2.83	Alto	21.73	Alto	30.13	Medio	26.11	Medio	1.68	Bajo
3	3.9	Bajo	2.12	Bajo	0.11	Bajo	1.72	Bajo	0.17	Bajo	2.49	Bajo	0.82	Bajo	2.81	Alto	7.98	Alto	38.71	Medio	29.69	Medio	1.35	Bajo
4	3.69	Bajo	1.99	Bajo	0.10	Bajo	6.54	Bajo	0.23	Bajo	1.41	Bajo	0.57	Bajo	5.8	Alto	11.05	Alto	8.88	Medio	40.76	Medio	0.89	Bajo
5	3.6	Bajo	3.44	Bajo	0.17	Bajo	1.64	Bajo	0.16	Bajo	0.72	Bajo	0.36	Bajo	5.79	Alto	7.39	Alto	5.53	Medio	26.02	Medio	1.43	Bajo
6	3.96	Bajo	1.46	Bajo	0.07	Bajo	5.85	Bajo	0.13	Bajo	3.63	Bajo	1.12	Medio	1.61	Alto	4.23	Medio	31.65	Medio	35.8	Medio	1.17	Bajo
7	4.15	Bajo	3.57	Bajo	0.18	Bajo	4.58	Bajo	0.15	Bajo	4.75	Medio	0.93	Bajo	1.29	Medio	5.87	Alto	29.69	Medio	25.45	Medio	4	Medio
8	3.9	Bajo	0.8	Bajo	0.04	Bajo	2.26	Bajo	0.21	Bajo	3.25	Bajo	1.18	Medio	3.17	Alto	4.79	Medio	19.02	Medio	32.17	Medio	1.44	Bajo
9	4.06	Bajo	2.38	Bajo	0.12	Bajo	2.26	Bajo	0.17	Bajo	5.99	Medio	1.54	Medio	0.8	Medio	6.88	Alto	25.09	Medio	20.47	Medio	0.3	Bajo
10	3.71	Bajo	0.8	Bajo	0.04	Bajo	8.27	Bajo	0.21	Bajo	1.8	Bajo	0.61	Bajo	4.41	Alto	4.49	Medio	19.24	Medio	36.71	Medio	0.39	Bajo
11	4.01	Bajo	1.59	Bajo	0.08	Bajo	2.36	Bajo	0.36	Medio	3.03	Bajo	1.24	Medio	4.4	Alto	2.84	Bajo	25.96	Medio	27.34	Medio	1.19	Bajo
12	3.89	Bajo	0.93	Bajo	0.05	Bajo	6.39	Bajo	0.18	Bajo	2.27	Bajo	0.85	Bajo	5.17	Alto	11.58	Alto	15.2	Medio	36.47	Medio	0.86	Bajo
13	4.12	Bajo	1.46	Bajo	0.07	Bajo	1.97	Bajo	0.12	Bajo	2.44	Bajo	1.05	Medio	6.31	Alto	9.58	Alto	9.03	Medio	33.85	Medio	1.08	Bajo
14	4.63	Bajo	1.85	Bajo	0.09	Bajo	6.08	Bajo	0.4	Medio	6.27	Medio	1.83	Medio	0.61	Medio	5.55	Alto	7.86	Medio	18.56	Medio	0.93	Bajo
15	4.32	Bajo	3.17	Bajo	0.16	Bajo	3.76	Bajo	0.6	Alto	4.01	Medio	1.01	Medio	3.79	Alto	14.64	Alto	9.07	Medio	25.44	Medio	0.68	Bajo
16	4.13	Bajo	3.57	Bajo	0.18	Bajo	0.37	Bajo	0.08	Bajo	2.18	Bajo	0.52	Bajo	5.96	Alto	12.8	Alto	6.07	Medio	31.69	Medio	0.74	Bajo
17	3.84	Bajo	1.72	Bajo	0.09	Bajo	2.13	Bajo	0.12	Bajo	1.15	Bajo	0.61	Bajo	6.89	Alto	4.9	Medio	2.94	Bajo	38.15	Medio	0.41	Bajo
18	4.33	Bajo	2.78	Bajo	0.14	Bajo	0.81	Bajo	0.29	Medio	2.47	Bajo	0.9	Bajo	3.79	Alto	3.38	Bajo	16.99	Medio	18.34	Medio	0.63	Bajo
19	4.14	Bajo	5.67	Medio	0.28	Medio	6.26	Bajo	0.19	Bajo	1.94	Bajo	0.88	Bajo	3.85	Alto	1.81	Bajo	19.24	Medio	16.77	Medio	0.52	Bajo
20	4.49	Bajo	1.99	Bajo	0.10	Bajo	1.3	Bajo	0.28	Medio	3.58	Bajo	1.58	Medio	3.29	Alto	21.6	Alto	45.41	Medio	36.29	Medio	0.75	Bajo
21	3.86	Bajo	3.3	Bajo	0.17	Bajo	3.37	Bajo	0.28	Medio	3.3	Bajo	1.62	Medio	4.27	Alto	3.87	Bajo	32.06	Medio	21.08	Medio	0.41	Bajo
22	3.85	Bajo	2.12	Bajo	0.11	Bajo	7.14	Bajo	0.2	Bajo	1.85	Bajo	0.75	Bajo	6.35	Alto	5.82	Alto	21.68	Medio	29.57	Medio	0.83	Bajo
23	4.51	Bajo	4.09	Medio	0.20	Medio	1.04	Bajo	0.22	Bajo	5.03	Medio	1.87	Medio	1.79	Alto	3.45	Bajo	44.43	Medio	14.31	Medio	0.43	Bajo
24	4.36	Bajo	6.07	Medio	0.30	Medio	1.51	Bajo	0.41	Alto	3.77	Bajo	1.58	Medio	2.61	Alto	2.6	Bajo	18.47	Medio	15.24	Medio	0.13	Bajo
25	3.77	Bajo	2.38	Bajo	0.12	Bajo	5.77	Bajo	0.11	Bajo	0.8	Bajo	0.47	Bajo	6.59	Alto	1.66	Bajo	10.59	Medio	23.66	Medio	0.24	Bajo

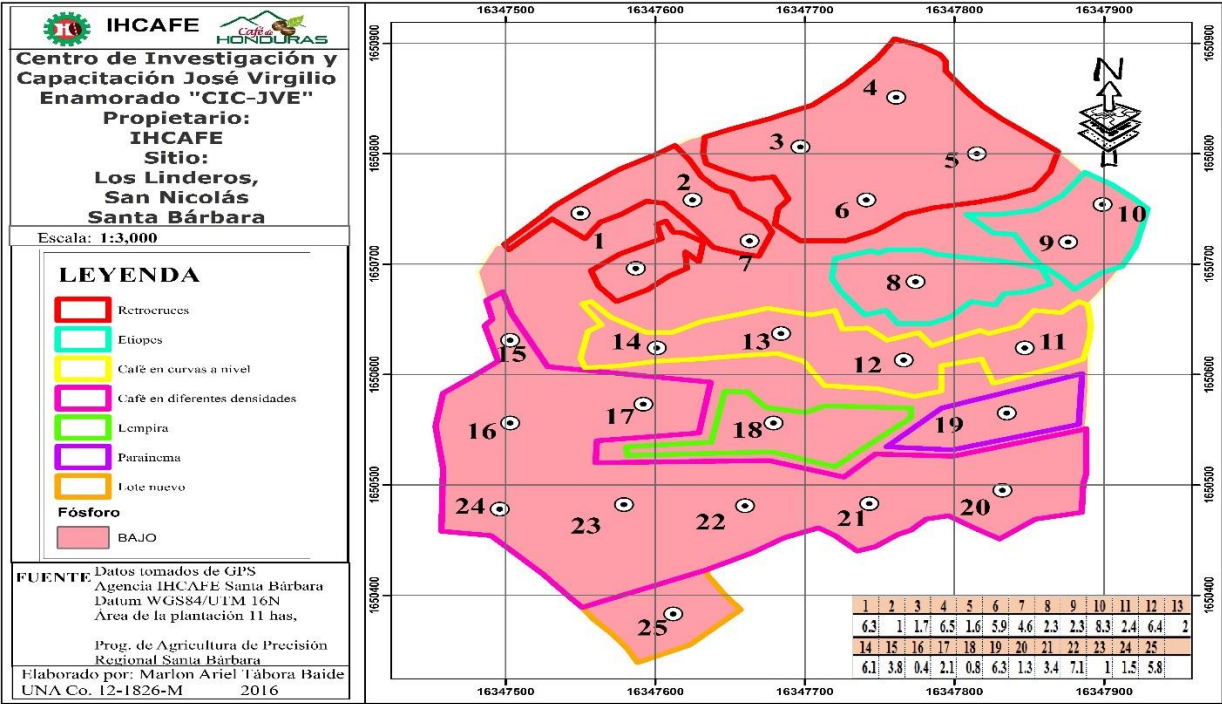
Anexo 8. pH en el suelo entre 0-20 cm de profundidad del CIC-JVE



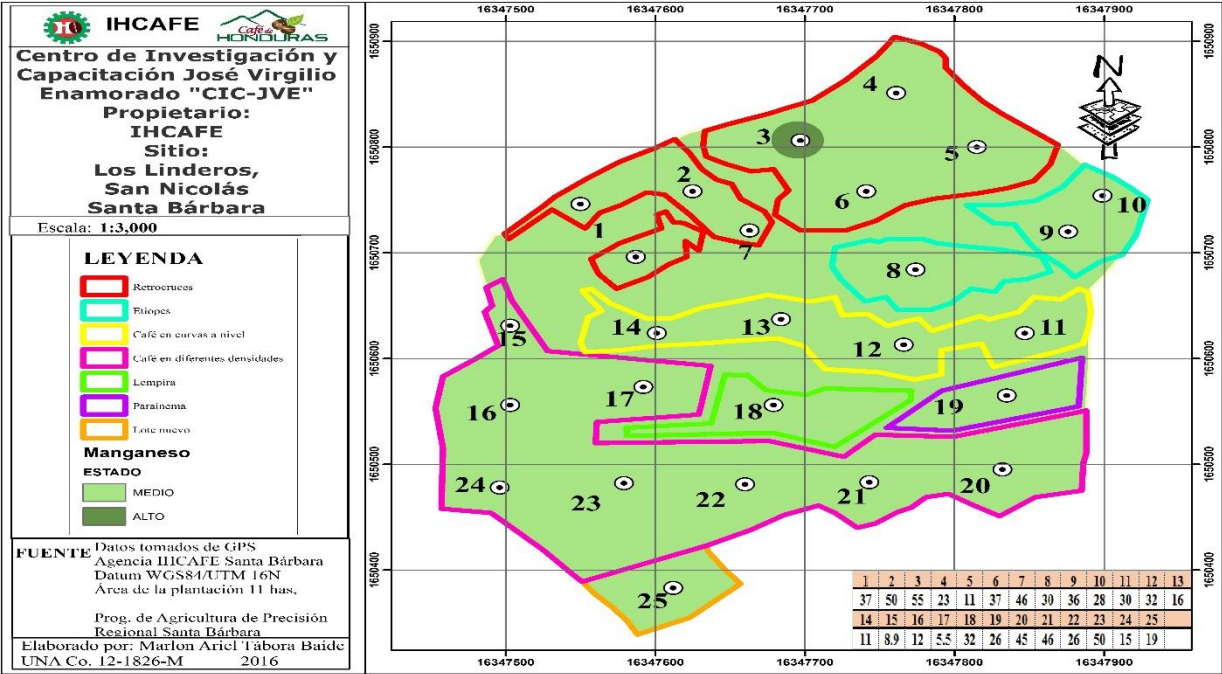
Anexo 9. pH en el suelo entre 20-40 cm de profundidad del CIC-JVE



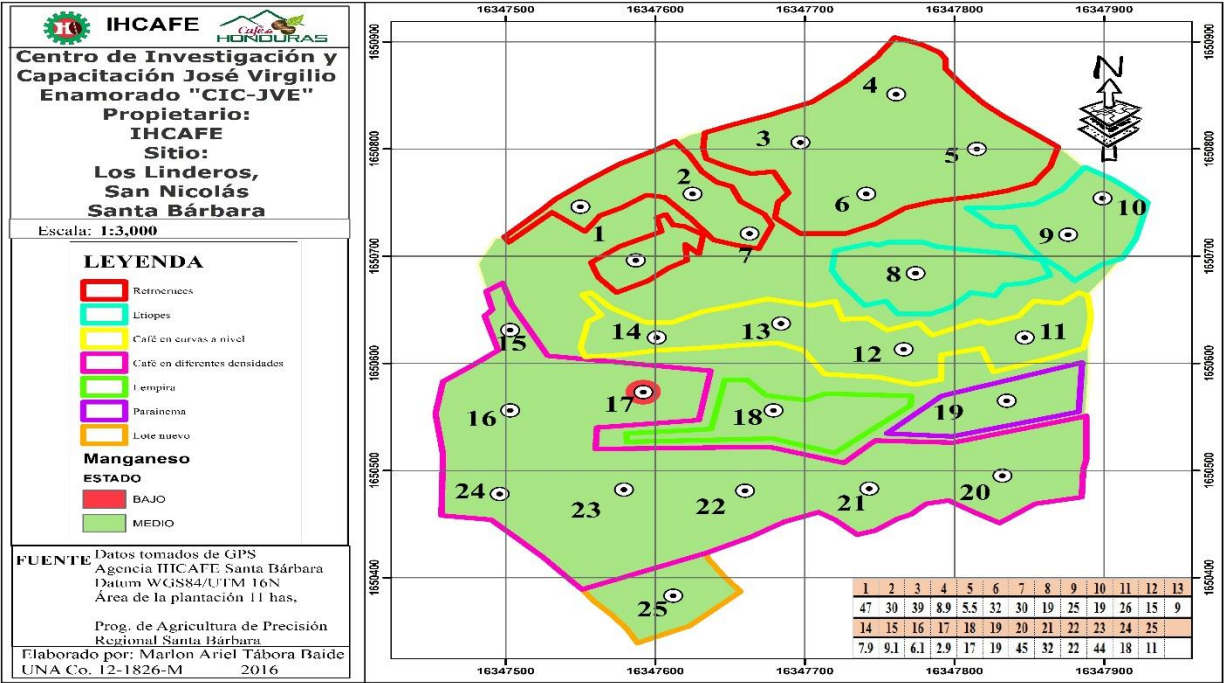
Anexo 10. Fósforo disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm



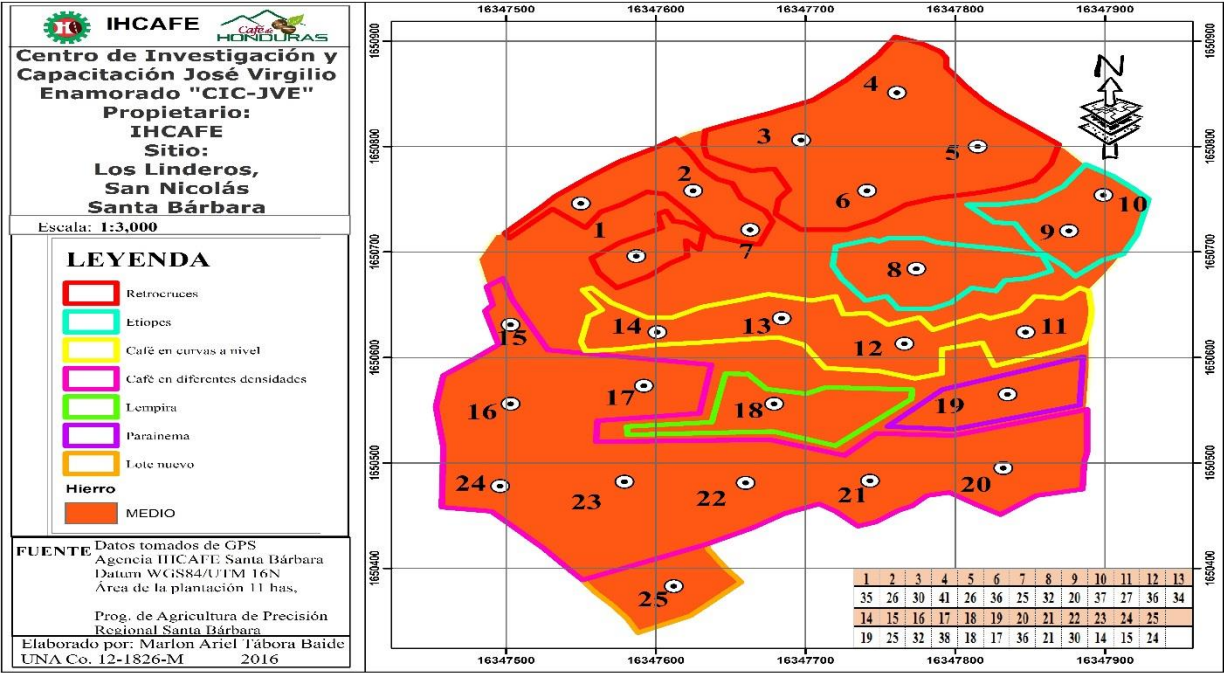
Anexo 11. Manganeso disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 0-20cm



Anexo 12. Manganeso disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm



Anexo 14. Hierro disponible en los suelos del CIC-JVE a profundidad entre 20-40cm



Anexo 15. Análisis de componentes principales: autovalores y autovectores.

Autovalores

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	3.44	0.31	0.31
2	2.10	0.19	0.50
3	1.49	0.14	0.64
4	1.32	0.12	0.76
5	0.88	0.08	0.84
6	0.81	0.07	0.91
7	0.34	0.03	0.94
8	0.27	0.02	0.97
9	0.19	0.02	0.98
10	0.12	0.01	1.00
11	0.04	3.9E-03	1.00

Autovectores

Variables	e1	e2	e3
pH	-0.41	-0.12	-0.18
MO (%)	0.08	0.40	0.09
P (ppm)	0.10	0.46	-0.11
K (meq/100g)	-0.05	0.03	-0.48
Ca (meq/100g)	-0.50	0.08	-0.15
Mg (meq/100g)	-0.36	-0.13	-0.33
Al (meq/100g)	0.50	-0.13	-0.15
Zinc (ppm)	-0.27	0.41	-0.14
Mn (ppm)	-0.25	0.07	0.55
Fe (ppm)	0.25	0.31	-0.44
Cu (ppm)	-0.03	0.55	0.21

Anexo 16. Perfil del suelo en el sitio 1



Anexo 17. Perfil del suelo en el sitio 2



Anexo 18. Monolitos sobre el perfil del suelo en el sitio 1



Anexo 19. Monolitos sobre el perfil del suelo en el sitio 2



Anexo 20. Toposecuencia en el suelo del CIC-JVE

